

PCT/JP00/04743

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

14.07.00

JPO0/4743

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 2月29日

出 願 番 号

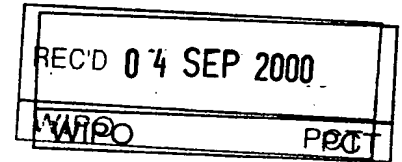
Application Number:

特願2000-054246

出 願 人

Applicant (s):

ソニー株式会社



4

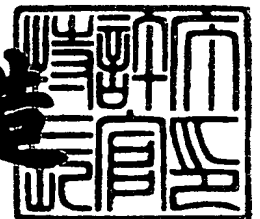
PRIORITY  
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2000年 8月18日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3064558

【書類名】	特許願
【整理番号】	0000046601
【提出日】	平成12年 2月29日
【あて先】	特許庁長官 近藤 隆彦 殿
【国際特許分類】	G06F 15/00
【発明者】	
【住所又は居所】	東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社 内
【氏名】	宇賀神 隆一
【発明者】	
【住所又は居所】	東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社 内
【氏名】	黒木 義彦
【発明者】	
【住所又は居所】	東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社 内
【氏名】	石橋 晃
【発明者】	
【住所又は居所】	東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社 内
【氏名】	平田 晋太郎
【特許出願人】	
【識別番号】	000002185
【氏名又は名称】	ソニー株式会社
【代表者】	出井 伸之
【代理人】	
【識別番号】	100082762
【弁理士】	
【氏名又は名称】	杉浦 正知

【電話番号】 03-3980-0339

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成11年特許願第200866号

【出願日】 平成11年 7月14日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 043812

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9708843

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 フラクタル構造の形成方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の起点からフラクタル構造をそれぞれ成長させ、それぞれの起点から成長する上記フラクタル構造を相互作用させながら成長させて互いに連結したフラクタル構造を形成するようにした

ことを特徴とするフラクタル構造の形成方法。

【請求項 2】 上記複数の起点のうちのある特定の起点からの成長速度は、遠方から拡散過程によって材料が既成長部分に到達する確率と、それ以外の起点から成長した部分からの拡散過程によって成長促進因子が既成長部分に到達する確率とにより決定されることを特徴とする請求項 1 記載のフラクタル構造の形成方法。

【請求項 3】 上記成長速度は、遠方から拡散過程によって材料が既成長部分に到達する確率の巾関数と、それ以外の起点から成長した部分からの拡散過程によって成長促進因子が既成長部分に到達する確率の巾関数との積に比例することを特徴とする請求項 2 記載のフラクタル構造の形成方法。

【請求項 4】 構造のフラクタル性または自己相似性または複雑さまたは結合の数が概ねパラメトリックに制御可能であることを特徴とする請求項 2 記載のフラクタル構造の形成方法。

【請求項 5】 構造のフラクタル性または自己相似性または複雑さまたは結合の数が概ねパラメトリックに制御可能であることを特徴とする請求項 3 記載のフラクタル構造の形成方法。

【請求項 6】 複数の起点から成長したそれぞれのフラクタル構造間の成長促進因子の拡散を決定する相対電位を、無限遠点に対して適当に調整することにより、構造のフラクタル性または自己相似性または複雑さまたは結合の数を概ねパラメトリックに制御可能としたことを特徴とする請求項 4 記載のフラクタル構造の形成方法。

【請求項 7】 複数の起点から成長したそれぞれのフラクタル構造間の成長促進因子の拡散を決定する相対電位を、無限遠点に対して適当に調整することにより、

より、構造のフラクタル性または自己相似性または複雑さまたは結合の数を概ねパラメトリックに制御可能としたことを特徴とする請求項 5 記載のフラクタル構造の形成方法。

【請求項 8】 上記フラクタル構造を成長させる空間に異方性を導入することを特徴とする請求項 1 記載のフラクタル構造の形成方法。

【請求項 9】 上記フラクタル構造を成長させる空間における上記拡散過程の拡散係数が異方性を有することを特徴とする請求項 2 記載のフラクタル構造の形成方法。

【請求項 10】 構造のフラクタル性または自己相似性または複雑さまたは結合の数が概ねパラメトリックに制御可能であることを特徴とする請求項 8 記載のフラクタル構造の形成方法。

【請求項 11】 構造のフラクタル性または自己相似性または複雑さまたは結合の数が概ねパラメトリックに制御可能であることを特徴とする請求項 9 記載のフラクタル構造の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、フラクタル構造の形成方法に関し、例えば、神経回路網などの複雑なネットワークの構成に適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】

従来のノイマン型コンピュータは、具体的なアルゴリズムを逐次実行して行く計算で大いに威力を発揮し、現代の科学技術を支えている。このコンピュータの CPU を設計するためには、複雑な電子回路を生成し、そのシミュレーションを実行することで、最適化して行かなければならない。その設計ツールとして、複雑な電子回路を生成する CAD システムはなくてはならない存在である。

【0003】

近年、ニューラル・ネットワーク・モデルなど、脳に学ぶ情報処理が広く研究され、図形認識などに威力を発揮しており、実用化が期待されている。ニューラ

ル・ネットワーク・モデルを現実のデバイス化するとき、脳の神経回路網のようなネットワークをなにがしかの物で実現することが好ましい。この方針に従い、生体の神経を人工的に形成する実験も行われており、将来が期待されている。

#### 【 0 0 0 4 】

##### 【発明が解決しようとする課題】

脳の神経細胞は、その一つひとつが複雑な樹状突起を持ち、フラクタル (fractal) 的な形状をしている。そのフラクタル的な要素がお互いに相互作用しながら成長し、複雑な脳の神経回路網のネットワークを形成している。

#### 【 0 0 0 5 】

好ましいネットワークの動作をシミュレートするためには、脳の神経回路網を生成する技法が必要である。つまり、従来のノイマン型コンピュータにとっての CAD システムに対応する、複雑なネットワークを構成する技法が切望されている。しかしながら、複数のフラクタル要素が結合する構造をそのフラクタル的な性質を制御しながら構成する手法は従来なかった。

#### 【 0 0 0 6 】

従って、この発明が解決しようとする課題は、神経回路網などの複雑なネットワークを制御性良くしかも容易に構成することができるフラクタル構造の形成方法を提供することにある。

#### 【 0 0 0 7 】

この発明が解決しようとする他の課題は、異なるフラクタル構造間の結合状態を制御することができ、より多彩な構造の神経回路網などの複雑なネットワークを制御性良くしかも容易に構成することができるフラクタル構造の形成方法を提供することにある。

#### 【 0 0 0 8 】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明者は、上記課題を解決すべく鋭意検討を行った結果、複数の起点からそれぞれフラクタル構造を成長させ、それらを相互作用させることにより、神経回路網などの複雑なネットワークを構成することができることを見出し、また、フラクタル構造を成長させる空間に異方性を導入することにより、フラクタル構

造間の結合状態を制御することが可能であることを見出し、この発明を案出するに至ったものである。

【 0 0 0 9 】

すなわち、上記課題を解決するために、この発明は、

複数の起点からフラクタル構造をそれぞれ成長させ、それぞれの起点から成長するフラクタル構造を相互作用させながら成長させて互いに連結したフラクタル構造を形成するようにした

ことを特徴とするフラクタル構造の形成方法である。

【 0 0 1 0 】

この発明において、例えば、複数の起点のうちのある特定の起点からの成長速度は、遠方から拡散過程によって材料が既成長部分に到達する確率と、それ以外の起点から成長した部分からの拡散過程によって成長促進因子が既成長部分に到達する確率とにより決定される。この成長速度は、例えば、遠方から拡散過程によって材料が既成長部分に到達する確率の巾関数と、それ以外の起点から成長した部分からの拡散過程によって成長促進因子が既成長部分に到達する確率の巾関数との積に比例する。また、この発明においては、典型的には、構造のフラクタル性または自己相似性または複雑さまたは結合の数を概ねパラメトリックに制御可能とする。より具体的には、例えば、複数の起点から成長したそれぞれのフラクタル構造間の成長促進因子の拡散を決定する相対電位を、無限遠点に対して適当に調整することにより、構造のフラクタル性または自己相似性または複雑さまたは結合の数を概ねパラメトリックに制御可能とする。

【 0 0 1 1 】

この発明においては、フラクタル構造を成長させる空間に異方性を導入する場合もある。具体的には、例えば、複数の起点のうちのある特定の起点からの成長速度が、遠方から拡散過程によって材料が既成長部分に到達する確率と、それ以外の起点から成長した部分からの拡散過程によって成長促進因子が既成長部分に到達する確率とにより決定される場合において、フラクタル構造を成長させる空間における拡散過程の拡散係数が異方性を有する。これらの場合も、典型的には、構造のフラクタル性または自己相似性または複雑さまたは結合の数を概ねパラ

メトリックに制御可能とする。異方性は拡散係数の異方性に限られず、例えば、フラクタル構造を成長させる空間の誘電率の異方性などであってもよい。

#### 【0012】

上述のように構成されたこの発明によるフラクタル構造の形成方法によれば、複数の起点からフラクタル構造をそれぞれ成長させ、それぞれの起点から成長するフラクタル構造を相互作用させながら成長させて互いに連結したフラクタル構造を形成するようにしていることにより、各要素がフラクタル的な複雑さを持ちつつ、その要素によるネットワークを制御性良くしかも容易に構成することができる。

#### 【0013】

また、フラクタル構造を成長させる空間に異方性を導入する場合には、それぞれの起点から成長するフラクタル構造が相互作用しながら成長して互いに連結したフラクタル構造を形成するときに、単一のフラクタル構造の内部で発現する応答が、異なるフラクタル構造間の結合により、より強力な非線形効果を受ける。ここで、フラクタル構造間の結合状態の制御の指針として異なるフラクタル構造の接する点の数に注目し、この点の数を制御することにより、この非線形性を制御することが可能である。

#### 【0014】

##### 【発明の実施の形態】

以下、この発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。

#### 【0015】

##### (1) Dielectric breakdown model

まず、単独のフラクタル図形（例えば、樹状突起のような図形）を形成する方法を説明する（(1)A.Erzan,L.Pietronero,A.Vespignani,Rev.Mod.Phys.67,545(1995), (2)T.A.Witten,Jr. and L.M.Sander,Phys.Rev.Lett.47,1400(1984); Phys.Rev.B 27,5686(1983)）。この方法は、Niemeyer et al. によって提案された Dielectric breakdown modelである（(3)L.Niemeyer,L.Pietronero,H.J.Wiesmann,Phys.Rev.Lett.52,1033(1984)）。

#### 【0016】



例として二次元空間の正方格子  $S$  を定義し、その格子点  $(i, j) \in S$  上にスカラーポテンシャル場  $\phi(i, j)$  を定義し、これを電位と称する。この電位はラプラス方程式

【数 1】

$$\Delta \phi(i, j) = 0 \quad (1)$$

に従うものとする。これから定義する図形  $T_n$  は二次元格子上の格子点の集合であり、 $T_0$  は  $(0, 0)$  のみからなり、 $T_{n+1}$  は順次、以下に与えるルールにより、 $T_n$  に一格子点を付け加えることにより生成される。

【0017】

まず、 $T_n$  に含まれる各点の電位を 1 とし、無限遠点での電位を 0 とする。つまり、

【数 2】

$$\phi(i, j) = 0 \quad \text{when} \quad (i, j) \longrightarrow \infty \quad (2)$$

$$\phi(i, j) = 1 \quad \text{when} \quad (i, j) \in T_n \quad (3)$$

である。この境界条件のもとで方程式 (1) を解き、各格子点の電位を決定する。 $T_{n+1}$  を構成するために  $T_n$  に付け加えられるべき格子点は、 $T_n$  に含まれず、 $T_n$  に最近接する格子点の集合  $U_n$  から選ばれる。 $U_n$  に含まれる格子点の数を  $N_n$  と書く。

【0018】

さて、 $U_n$  に含まれる各点  $(i_m, j_m)$  (ただし、 $m = 1, 2, \dots, N_n$ ) に対し、その電界強度を

【数 3】

$$E_m(\alpha) = |\phi(i_m, j_m) - 1|^\alpha \quad (4)$$

と定義する。 $U_n$  のある点  $(i_m, j_m)$  が選ばれる確率は、その電界強度  $E_m(\alpha)$  に比例する。つまり、その確率は

【数 4】

$$p_m(\alpha) = \frac{E_m(\alpha)}{\sum_{j=1}^{N_n} E_j(\alpha)} \quad (5)$$

である。

【0019】

以上の操作を繰り返すことで  $T_n$  を構成して行く。理想的なフラクタルは、無限に繰り返した極限集合

【数 5】

$$T_\infty = \lim_{n \rightarrow \infty} T_n \quad (6)$$

であろう。また、 $\alpha = 1$  の場合は、上記と Diffusion limited aggregation による図形生成の結果は一致する((2) T.A.Witten, Jr. and L.M.Sander, Phys.Rev.Lett. 47,1400(1984) ; Phys.Rev.B 47,5686(1983))。

【0020】

(2) 相互作用しながら成長するフラクタルス

以下に、相互作用しながら成長するフラクタルス (interacting fractals)、すなわち結合フラクタルネットワーク (coupled-fractal network) を定義する。例として二次元空間の正方格子  $S$  上に、 $N_c$  個の種からなるフラクタルスを考える。格子点  $(i, j) \in S$  上にスカラーポテンシャル場  $\phi(i, j)$  を定義し、これを電位と称する。そして、

【数 6】

$$\psi^{(1)}(i, j), \psi^{(2)}(i, j), \dots, \psi^{(N_c)}(i, j)$$

も定義する。これらは二微分方程式

【数 7】

$$\Delta\phi(i, j) = 0 \quad (7)$$

$$\Delta\psi^{(1)}(i, j) = 0 \quad (8)$$

$$\Delta\psi^{(2)}(i, j) = 0 \quad (9)$$

$$\vdots$$

$$\Delta\psi^{(N_c)}(i, j) = 0 \quad (10)$$

を満たす。これから定義する図形  $T_n$  は二次元格子上的格子点の集合であり、その各格子点は、 $N_c$  個の種に分類されている。すなわち、

【数 8】

$$T_n = \bigcup_{j=1}^{N_c} Q_n^{(j)} \quad (11)$$

であり、各種は互いに排他的である。つまり、

【数 9】

$$Q_n^{(j)} \cap Q_n^{(k)} = \emptyset \text{ if } j \neq k \quad (12)$$

である。

【0 0 2 1】

【数 1 0】

$$Q_0^{(k)}$$

は単一の格子点

【数 1 1】

$$(i_{ini}^{(k)}, j_{ini}^{(k)})$$

のみからなり、 $T_{n+1}$  は順次、以下に与えるルールにより、 $T_n$  に一格子点を付け加えることにより生成される。まず、

【数 1 8】

$$N_n^{(k)}$$

と書く。つまり、 $T_n$  に付け加えられるべき格子点は、以下の集合

【数 1 9】

$$U_n = \bigcup_{k=1}^{N_c} U_n^{(k)} \quad (18)$$

から選ばれ、その集合に含まれる格子点の数、つまり候補者数は

【数 2 0】

$$N_n = \sum_{k=1}^{N_c} N_n^{(k)} \quad (19)$$

である。

【0 0 2 3】

さて、

【数 2 1】

$$U_n^{(k)}$$

に含まれる各点

【数 2 2】

$$(i_m^{(k)}, j_m^{(k)}) \quad (m = 1, 2, \dots, N_n^{(k)})$$

に対し、その電界強度を

【数 2 3】

$$E_m^{(k)}(\alpha, \beta) = |\phi(i_m^{(k)}, j_m^{(k)}) - 1|^\alpha \times |\psi^{(k)}(i_m^{(k)}, j_m^{(k)}) - 1|^\beta \quad (20)$$

のように定義する。

【0 0 2 4】

$U_n$  のある点

【数 2 4】

$$(i_m^{(k)}, j_m^{(k)})$$

が選ばれる確率は、その電界強度

【数 2 5】

$$E_m^{(k)}(\alpha, \beta)$$

に比例する。つまり、その確率は、

【数 2 6】

$$p_m^{(k)}(\alpha, \beta) = \frac{1}{\Delta} E_m^{(k)}(\alpha, \beta) \quad (21)$$

$$\Delta = \sum_{k=1}^{N_c} \sum_{j=1}^{N_n^{(k)}} E_j^{(k)}(\alpha, \beta) \quad (22)$$

である。以上の操作を繰り返すことで  $T_n$  を構成して行く。

【0025】

以上のモデルに関する物理的（または生理学的）解釈を与えておく。 $\phi(i, j)$  は、Dielectric breakdown modelの解釈より、遠方から拡散により運ばれてくる成長材料  $S_{rc}$  の成長可能領域への到達確率を与えている。一方、 $\phi_k(i, j)$  は、 $k$  番目の種の成長可能領域へ  $k$  番目を除く種の既成長部分から拡散により運ばれてくる、なにがしかの物質  $X$  の到達確率を与えている。 $k$  番目の種の成長が起こる確率はその積に比例するとしているのは、成長材料  $S_{rc}$  と物質  $X$  とがともに到達している時のみ成長が起こると仮定していることを意味する。つまり、成長材料  $S_{rc}$  が接着物質  $X$  により  $k$  番目の種の既成長部分に付着することにより成長が起こる状況を想定している。もちろん、この接着物質  $X$  の介在する付着が律速している反応という意味である。あるいは、別の解釈では、 $\phi(i, j)$  は上記と同様に、遠方から拡散により運ばれてくる成長材料  $S_{rc}$  の成長可能領域への到達確率を与え、一方、 $\phi_k(i, j)$  は  $k$  番目の種の位置における電位を与え、 $k$  番目の種の成長が起こる確率が成長材料  $S_{rc}$  の到達確率と電界強度との積に比例すると考えることもできる。

## 【0026】

上記(2)のモデルに基づく神経回路網の形成方法の具体例について説明する。シミュレーション結果の一つを図1に示す。このシミュレーションでは、 $(\alpha, \beta) = (0.5, 1.0)$ を用い、4点から4000ステップ成長を行った。図2では同じ $(\alpha, \beta)$ を用い、3点から3000ステップ成長を行った。また、パラメータを変化させることで様々な図形を生成することができる。遠方から運ばれてくる成長材料に対応する $\alpha$ が大きいと、各要素は広がる傾向を持ち、近傍の接着物質に対応する $\beta$ が大きいと結合は密となる。 $(\alpha, \beta)$ を変化させ、2点から2000ステップ成長を行ったときの図形を図3～図7に示す。図3では上述の二例と同様に $(\alpha, \beta) = (0.5, 1.0)$ を用いた。これより $\beta$ を増加させた場合を図4～図6に示す。図4では $(\alpha, \beta) = (0.5, 1.5)$ 、図5では $(\alpha, \beta) = (0.5, 2.0)$ 、図6では $(\alpha, \beta) = (0.5, 2.5)$ をそれぞれ用いた。 $\beta$ が増加するに従って、結合が密になって行くのが分かる。一方、 $\alpha$ と $\beta$ との大小関係を逆転させると図7 [ $(\alpha, \beta) = (1.0, 0.5)$ ]のように、遠方において成長が進む傾向となる。このように、パラメータ $\alpha$ と $\beta$ を変化させることで、図形の性質を制御しながら様々な神経回路網構造を生成することができる。

## 【0027】

## (3) 拡張された、相互作用しながら成長するフラクタルス

以下に、拡張された、相互作用しながら成長するフラクタルス、すなわち結合フラクタルネットワークを定義する。例として二次元空間の正方格子 $S$ 上に、 $N_c$ 個の種からなるフラクタルスを考える。格子点 $(i, j) \in S$ 上にスカラーポテンシャル場 $\phi(i, j)$ を定義し、これを電位と称する。そして、

【数27】

$$\psi^{(1)}(i, j), \psi^{(2)}(i, j), \dots, \psi^{(N_c)}(i, j)$$

も定義する。これらは、微分方程式

【数 2 8】

$$\Delta\phi(i, j) = 0 \quad (23)$$

$$\Delta\psi^{(1)}(i, j) = 0 \quad (24)$$

$$\Delta\psi^{(2)}(i, j) = 0 \quad (25)$$

$$\vdots$$

$$\Delta\psi^{(N_c)}(i, j) = 0 \quad (26)$$

を満たす。これから定義する図形  $T_n$  は二次元格子上的格子点の集合であり、その各格子点は、 $N_c$  個の種に分類されている。すなわち、

【数 2 9】

$$T_n = \bigcup_{j=1}^{N_c} Q_n^{(j)} \quad (27)$$

であり、各種は互いに排他的である。つまり、

【数 3 0】

$$Q_n^{(j)} \cap Q_n^{(k)} = \emptyset \text{ if } j \neq k \quad (28)$$

である。

【0 0 2 8】

【数 3 1】

$$Q_0^{(k)}$$

は単一の格子点

【数 3 2】

$$(i_{ini}^{(k)}, j_{ini}^{(k)})$$

のみからなり、 $T_{n+1}$  は順次、以下に与えるルールにより、 $T_n$  に一格子点を付け加えることにより生成される。まず、

【数 3 3】

$$\phi(i, j) = 0 \quad \text{when} \quad (i, j) \longrightarrow \infty \quad (29)$$

$$\phi(i, j) = 1 \quad \text{when} \quad (i, j) \in T_n \quad (30)$$

の境界条件のもとで方程式(23)を解き、各格子点の電位を決定する。また、

【数 3 4】

$$\psi^{(k)}(i, j) = \psi_\infty \quad \text{when} \quad (i, j) \longrightarrow \infty \quad (31)$$

$$\psi^{(k)}(i, j) = 1 \quad \text{when} \quad (i, j) \in Q_n^{(k)} \quad (32)$$

$$\psi^{(k)}(i, j) = -1 \quad \text{when} \quad (i, j) \in Q_n^{(l)} \quad (k \neq l) \quad (33)$$

の境界条件のもとで方程式(24)～(26)を解き、

【数 3 5】

$$\psi^{(k)}(i, j)$$

を決定する。 $T_{n+1}$ を構成するために、 $T_n$ に付け加えられるべき格子点は、 $T_n$ に含まれず、

【数 3 6】

$$Q_n^{(k)}$$

に最近接する格子点の集合

【数 3 7】

$$U_n^{(k)}$$

から選ばれる。

【0 0 2 9】

【数 3 8】

$$U_n^{(k)}$$

に含まれる格子点の数を



【数 3 9】

$$N_n^{(k)}$$

と書く。つまり、 $T_n$  に付け加えられるべき格子点は、以下の集合

【数 4 0】

$$U_n = \bigcup_{k=1}^{N_c} U_n^{(k)} \quad (34)$$

から選ばれ、その集合に含まれる格子点の数、つまり候補者数は

【数 4 1】

$$N_n = \sum_{k=1}^{N_c} N_n^{(k)} \quad (35)$$

である。

【0 0 3 0】

さて、

【数 4 2】

$$U_n^{(k)}$$

に含まれる各点

【数 4 3】

$$(i_m^{(k)}, j_m^{(k)})$$

に対し、その電界強度を

【数 4 4】

$$E_m^{(k)}(\alpha, \beta) = |\phi(i_m^{(k)}, j_m^{(k)}) - 1|^\alpha \times |\psi^{(k)}(i_m^{(k)}, j_m^{(k)}) - 1|^\beta \quad (36)$$

のように定義する。

【0 0 3 1】

$U_n$  のある点

【数 4 5】

$$(i_m^{(k)}, j_m^{(k)})$$

が選ばれる確率は、その電界強度

【数 4 6】

$$E_m^{(k)}(\alpha, \beta)$$

に比例する。つまり、その確率は、

【数 4 7】

$$p_m^{(k)}(\alpha, \beta) = \frac{1}{\Delta} E_m^{(k)}(\alpha, \beta) \quad (37)$$

$$\Delta = \sum_{k=1}^{N_c} \sum_{j=1}^{N_n^{(k)}} E_j^{(k)}(\alpha, \beta) \quad (38)$$

である。以上の操作を繰り返すことで  $\Pi_n$  を構成して行く。

【0032】

以上のモデルは、

【数 4 8】

$$\psi^{(k)}(i, j)$$

の境界条件

【数 4 9】

$$\psi^{(k)}(i, j) = \psi_{\infty}$$

の部分で、(2) で説明したモデルを拡張したものとなっている。つまり、

【数 5 0】

$$\psi_{\infty} = 0$$

と限定することにより、(2) のモデルに帰着する。

【 0 0 3 3 】

上記 ( 3 ) のモデルに基づく神経回路網の形成方法の具体例について説明する。  
シミュレーション結果を図 8 ～ 図 1 4 に示す。これらのシミュレーションでは、  
(  $\alpha$  ,  $\beta$  ) = ( 0.5 , 1.0 ) を使い、3 点から 3 0 0 0 ステップ成長を行った。図 8 は、

【 数 5 1 】

$$\psi_{\infty} = 0$$

の境界条件により成長させた場合であり、上記 ( 2 ) の場合と同様である。図 9  
では

【 数 5 2 】

$$\psi_{\infty} = -1$$

図 1 0 では

【 数 5 3 】

$$\psi_{\infty} = -0.6$$

図 1 1 では

【 数 5 4 】

$$\psi_{\infty} = -0.2$$

を用いた。

【 数 5 5 】

$$\psi_{\infty}$$

が負の場合、自分以外の種類に属するフラクタル図形と、無限遠点との電位差が  
少なくなり、フラクタル図形間の相互作用は弱くなる。一方、

【 数 5 6 】

$$\psi_{\infty}$$

を正の値としたものが、図 1 2 ～ 図 1 4 である。図 1 2 では

【数 5 7】

$$\psi_{\infty} = 1$$

図 1 3 では

【数 5 8】

$$\psi_{\infty} = 0.6$$

図 1 4 では

【数 5 9】

$$\psi_{\infty} = 0.2$$

を用いた。

【数 6 0】

$$\psi_{\infty} > 0$$

の場合は反対に、フラクタル図形間の相互作用が強くなり、より密に集合した形状が得られる。

【0 0 3 4】

(4) 異方性を導入した、拡張された、相互作用しながら成長するフラクタルス

以下に、異方性を導入した、拡張された、相互作用しながら成長するフラクタルス、すなわち結合フラクタルネットワークを定義する。例として二次元空間の正方格子  $S$  上に、 $N_c$  個の種からなるフラクタルスを考える。このとき、 $S$  を異方的な場と考え、異方性パラメータテンソル

【数 6 1】

$$M = (m_{\mu,\nu}), L = (l_{\mu,\nu})$$

を導入する。格子点  $(i, j) \in S$  上にスカラーポテンシャル場  $\phi_M(i, j)$  を定義し、これを電位と称する。また、

【数 6 2】

$$\psi_L^{(1)}(i,j), \psi_L^{(2)}(i,j), \dots, \psi_L^{(N_c)}(i,j)$$

を定義する。これらは次の微分方程式を満たす

【数 6 3】

$$\sum_{\mu,\nu=x,y} \frac{\partial}{\partial r_\mu} \frac{1}{m_{\mu,\nu}} \frac{\partial}{\partial r_\nu} \phi_M(i,j) = 0 \quad (61)$$

$$\sum_{\mu,\nu=x,y} \frac{\partial}{\partial r_\mu} \frac{1}{l_{\mu,\nu}} \frac{\partial}{\partial r_\nu} \psi_L^{(1)}(i,j) = 0 \quad (62)$$

$$\sum_{\mu,\nu=x,y} \frac{\partial}{\partial r_\mu} \frac{1}{l_{\mu,\nu}} \frac{\partial}{\partial r_\nu} \psi_L^{(2)}(i,j) = 0 \quad (63)$$

$$\vdots$$

$$\sum_{\mu,\nu=x,y} \frac{\partial}{\partial r_\mu} \frac{1}{l_{\mu,\nu}} \frac{\partial}{\partial r_\nu} \psi_L^{(N_c)}(i,j) = 0 \quad (64)$$

ここで、

【数 6 4】

$$\frac{\partial}{\partial r_\mu}$$

は格子点上の差分を表し、例えば

【数 6 5】

$$\frac{\partial \phi_M(i,j)}{\partial r_x} = \frac{\phi_M(i+1,j) - \phi_M(i,j)}{(i+1) - i} \quad (65)$$

である。これから定義する図形  $T_n$  は二次元格子上的格子点の集合であり、その各格子点は  $N_c$  個の種に分類されている。すなわち、

【数 6 6】

$$T_n = \bigcup_{p=1}^{N_c} Q_n^{(p)} \quad (66)$$

であり、各種は互いに排他的である。つまり、

【数 6 7】

$$Q_n^{(p)} \cap Q_n^{(q)} = \emptyset, \quad \text{if } p \neq q. \quad (67)$$

である。

【数 6 8】

$$Q_0^{(p)}$$

は単一の格子点

【数 6 9】

$$(i_{ini}^{(p)}, j_{ini}^{(p)})$$

のみからなり、 $T_{n+1}$  は順次、以下に与えるルールにより、 $T_n$  に一格子点を付け加えることにより生成される。まず、

【数 7 0】

$$\phi_M(i, j) = 0 \quad \text{when } (i, j) \longrightarrow \infty \quad (68)$$

$$\phi_M(i, j) = 1 \quad \text{when } (i, j) \in T_n \quad (69)$$

の境界条件のもとで方程式(61)を解き、各格子点の電位を決定する。また、

【数 7 1】

$$\psi_L^{(p)}(i, j) = \psi_\infty \quad \text{when } (i, j) \longrightarrow \infty \quad (70)$$

$$\psi_L^{(p)}(i, j) = 1 \quad \text{when } (i, j) \in Q_n^{(p)} \quad (71)$$

$$\psi_L^{(p)}(i, j) = -1 \quad \text{when } (i, j) \in Q_n^{(q)} \quad (p \neq q) \quad (72)$$

の境界条件のもとで方程式(62)～(64)を解き、

【数 7 2】

$$\psi_L^{(p)}(i, j)$$

を決定する。 $T_{n+1}$  を構成するために  $T_n$  に付け加えられるべき格子点は、 $T_n$

に含まれず、

【数 7 3】

$$Q_n^{(p)}$$

に最近接する格子点の集合

【数 7 4】

$$U_n^{(p)}$$

から選ばれる。

【0 0 3 5】

【数 7 5】

$$U_n^{(p)}$$

に含まれる格子点の数を

【数 7 6】

$$N_n^{(p)}$$

と書く。つまり、 $T_n$  に付け加えられるべき格子点は、以下の集合

【数 7 7】

$$U_n = \bigcup_{p=1}^{N_c} U_n^{(p)} \quad (73)$$

から選ばれ、その集合に含まれる格子点の数、つまり候補者数は

【数 7 8】

$$N_n = \sum_{p=1}^{N_c} N_n^{(p)} \quad (74)$$

である。

【0 0 3 6】

さて、

【数 79】

$$U_n^{(p)}$$

に含まれる各点

【数 80】

$$(i_m^{(p)}, j_m^{(p)}) \quad (m = 1, 2, \dots, N_n^{(p)})$$

に対し、その電界強度を

【数 81】

$$E_m^{(p)}(\alpha, \beta, M, L) = |\phi_M(i_m^{(p)}, j_m^{(p)}) - 1|^\alpha \times |\psi_L(i_m^{(p)}, j_m^{(p)}) - 1|^\beta \quad (75)$$

のように定義する。

【0037】

$U_n$  のある点

【数 82】

$$(i_m^{(p)}, j_m^{(p)})$$

が選ばれる確率は、その電界強度

【数 83】

$$E_m^{(p)}(\alpha, \beta, M, L)$$

に比例する。つまり、その確率は



【数 8 4】

$$P_m^{(p)}(\alpha, \beta, M, L) = \frac{1}{\Delta} E_m^{(p)}(\alpha, \beta, M, L) \quad (76)$$

$$\Delta = \sum_{p=1}^{N_c} \sum_{m=1}^{N_n^{(p)}} E_m^{(p)}(\alpha, \beta, M, L) \quad (77)$$

である。以上の操作を繰り返すことで  $T_n$  を構成して行く。

【0038】

以上のモデルは、方程式 (61) ~ (64) において異方性パラメータを導入したことで、上記 (3) のモデルを拡張したものとなっている。

【数 8 5】

$$m_{\mu,\nu} = m\delta_{\mu,\nu}, \quad l_{\mu,\nu} = l\delta_{\mu,\nu} \quad (m, l = \text{const})$$

と限定することにより、(3) のモデルに帰着する。

【0039】

上記 (4) のモデルに基づく神経回路網の形成方法の具体例について説明する。以下にシミュレーション結果を示す。まず、異方性パラメータの導入により、結合フラクタル図形がどのように変化したかを示す。わかりやすくするために、二次元格子上で一方向にだけ（ここでは  $x-y$  平面の  $y$  軸方向）異方性を入れる。つまり、

【数 8 6】

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & m \end{pmatrix}, \quad L = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & l \end{pmatrix} \quad (78)$$

とする。  $(\alpha, \beta) = (0.5, 1.0)$  、

【数 8 7】

$$\psi_\infty = 0$$

とパラメータを固定して、 $y$  軸上の 2 点から 4000 ステップ成長させた。図 1

5～図20はそれぞれ $m=1=0.5$ 、 $m=1=0.75$ 、 $m=1=1.0$ 、 $m=1=1.25$ 、 $m=1=1.5$ 、 $m=1=2.0$ としたときの結合フラクタル図形である。これらの図より、 $m$ 、 $l$ が大きくなるにつれて結合フラクタル図形が $y$ 軸方向に伸び（ $y$ 軸方向の成長が促進されている）、 $m$ 、 $l$ が小さくなるにつれて結合フラクタル図形が $x$ 軸方向に伸びる（ $y$ 軸方向の成長が抑制されている）傾向があることがわかる。さらに、これらの構造変化により、異なるフラクタル図形間の隣接している点の数が増加していることがわかる。具体的には、図15、図16および図17に示す図形においては二つのフラクタル図形間で隣接している点は存在しないが、図18では隣接点が6個、図19では57個、図20では95個というふうに徐々に増加している。このように、異方性パラメータを変化させることによって、複数のフラクタル図形間の結合状態を変化させることができる。また、 $m=0.5$ 、 $l=2.0$ と異なる値として成長させたときの図形が図21である。これより、 $\psi$ に導入した異方性パラメータ $l$ の影響が $\phi$ に導入した異方性パラメータ $m$ の影響よりも大きいことがわかる。結合強度が変化することからも容易にわかるように、このモデルによる方法は単なる空間伸縮ではなく、本質的に新しく導入された成長アルゴリズムの異方性により、改良されたものである。

#### 【0040】

（5）三次元空間における異方性を導入した、拡張された、相互作用しながら成長するフラクタルス

以下に、上記（4）のモデルを発展させ、三次元空間における異方性を導入した、拡張された、相互作用しながら成長するフラクタルス、すなわち結合フラクタルネットワークを導入する。三次元空間の正方格子 $S$ 上に、 $N_c$ 個の種からなるフラクタルスを考える。このとき、 $S$ を異方的な場と考え、異方性パラメータテンソル

【数88】

$$M = (m_{\mu,\nu}), L = (l_{\mu,\nu})$$

を導入する。格子点 $(i, j, k) \in S$ 上にスカラーポテンシャル場 $\phi_M(i, j, k)$

) を定義し、これを電位と称する。また、

【数 89】

$$\psi_L^{(1)}(i, j, k), \psi_L^{(2)}(i, j, k), \dots, \psi_L^{(N_c)}(i, j, k)$$

を定義する。これらは次の微分方程式を満たす。

【数 90】

$$\sum_{\mu, \nu=x, y, z} \frac{\partial}{\partial r_\mu} \frac{1}{m_{\mu, \nu}} \frac{\partial}{\partial r_\nu} \phi_M(i, j, k) = 0 \quad (79)$$

$$\sum_{\mu, \nu=x, y, z} \frac{\partial}{\partial r_\mu} \frac{1}{l_{\mu, \nu}} \frac{\partial}{\partial r_\nu} \psi_L^{(1)}(i, j, k) = 0 \quad (80)$$

$$\sum_{\mu, \nu=x, y, z} \frac{\partial}{\partial r_\mu} \frac{1}{l_{\mu, \nu}} \frac{\partial}{\partial r_\nu} \psi_L^{(2)}(i, j, k) = 0 \quad (81)$$

⋮

$$\sum_{\mu, \nu=x, y, z} \frac{\partial}{\partial r_\mu} \frac{1}{l_{\mu, \nu}} \frac{\partial}{\partial r_\nu} \psi_L^{(N_c)}(i, j, k) = 0 \quad (82)$$

ここで、

【数 91】

$$\frac{\partial}{\partial r_\mu}$$

は格子点上の差分を表し、例えば

【数 92】

$$\frac{\partial \phi_M(i, j, k)}{\partial r_x} = \frac{\phi_M(i+1, j, k) - \phi_M(i, j, k)}{(i+1) - i} \quad (83)$$

である。これから定義する図形  $T_n$  は三次元格子上の格子点の集合であり、その各格子点は  $N_c$  個の種に分類されている。すなわち、

【数 9 3】

$$T_n = \bigcup_{p=1}^{N_c} Q_n^{(p)} \quad (84)$$

であり、各種は互いに排他的である。つまり、

【数 9 4】

$$Q_n^{(p)} \cap Q_n^{(q)} = \emptyset, \quad \text{if } p \neq q. \quad (85)$$

である。

【数 9 5】

$$Q_0^{(p)}$$

は単一の格子点

【数 9 6】

$$(i_{\text{ini}}^{(p)}, j_{\text{ini}}^{(p)}, k_{\text{ini}}^{(p)})$$

のみからなり、 $T_{n+1}$  は順次、以下に与えるルールにより、 $T_n$  に一格子点を付け加えることにより生成される。まず、

【数 9 7】

$$\phi_M(i, j, k) = 0 \quad \text{when } (i, j, k) \longrightarrow \infty \quad (86)$$

$$\phi_M(i, j, k) = 1 \quad \text{when } (i, j, k) \in T_n \quad (87)$$

の境界条件のもとで方程式(79)を解き、各格子点の電位を決定する。また、

【数 9 8】

$$\psi_L^{(p)}(i, j, k) = \psi_\infty \quad \text{when } (i, j, k) \longrightarrow \infty \quad (88)$$

$$\psi_L^{(p)}(i, j, k) = 1 \quad \text{when } (i, j, k) \in Q_n^{(p)} \quad (89)$$

$$\psi_L^{(p)}(i, j, k) = -1 \quad \text{when } (i, j, k) \in Q_n^{(q)} (p \neq q) \quad (90)$$

の境界条件のもとで方程式(80)～(82)を解き、

【数 9 9】

$$\psi_L^{(p)}(i, j, k)$$

を決定する。 $T_{n+1}$  を構成するために  $T_n$  に付け加えられるべき格子点は、 $T_n$  に含まれず、

【数 1 0 0】

$$Q_n^{(p)}$$

に最近接する格子点の集合

【数 1 0 1】

$$U_n^{(p)}$$

から選ばれる。

【0 0 4 1】

【数 1 0 2】

$$U_n^{(p)}$$

に含まれる格子点の数を

【数 1 0 3】

$$N_n^{(p)}$$

と書く。つまり、 $T_n$  に付け加えられるべき格子点は、以下の集合

【数 1 0 4】

$$U_n = \bigcup_{p=1}^{N_c} U_n^{(p)} \quad (91)$$

から選ばれ、その集合に含まれる格子点の数、つまり候補者数は

【数 1 0 5】

$$N_n = \sum_{p=1}^{N_c} N_n^{(p)} \quad (92)$$

である。

【0 0 4 2】

さて、

【数 1 0 6】

 $U_n^{(p)}$ 

に含まれる各点

【数 1 0 7】

$$(i_m^{(p)}, j_m^{(p)}, k_m^{(p)}) \quad (m = 1, 2, \dots, N_n^{(p)})$$

に対し、その電界強度を

【数 1 0 8】

$$E_m^{(p)}(\alpha, \beta, M, L) = |\phi_M(i_m^{(p)}, j_m^{(p)}, k_m^{(p)}) - 1|^\alpha \times |\psi_L^{(p)}(i_m^{(p)}, j_m^{(p)}, k_m^{(p)}) - 1|^\beta \quad (93)$$

のように定義する。

【0 0 4 3】

 $U_n$  のある点

【数 1 0 9】

$$(i_m^{(p)}, j_m^{(p)}, k_m^{(p)})$$

が選ばれる確率は、その電界強度

【数 1 1 0】

$$E_m^{(p)}(\alpha, \beta, M, L)$$

に比例する。つまり、その確率は、

【数 1 1 1】

$$P_m^{(p)}(\alpha, \beta, M, L) = \frac{1}{\Delta} E_m^{(p)}(\alpha, \beta, M, L) \quad (94)$$

$$\Delta = \sum_{p=1}^{N_c} \sum_{m=1}^{N_n^{(p)}} E_m^{(p)}(\alpha, \beta, M, L) \quad (95)$$

である。以上の操作を繰り返すことで  $T_n$  を構成して行く。

【0 0 4 4】

上記 (5) のモデルに基づく神経回路網の形成方法の具体例について説明する。以下に、三次元格子上的シミュレーション結果を示す。三次元格子上で異方性を  $z$  軸方向のみに導入、つまり

【数 1 1 2】

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & m \end{pmatrix}, \quad L = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & l \end{pmatrix} \quad (96)$$

とし、 $(\alpha, \beta) = (0.4, 0.8)$ 、

【数 1 1 3】

$$\psi_{\infty} = 0$$

とパラメータを固定して、 $x y$  平面内にある三点から 5 0 0 0 ステップ成長させた。 $m=1=0.02$ 、 $m=1=0.1$ 、 $m=1=1.0$ 、 $m=1=2.0$ 、 $m=1=10.0$  の各場合における結合フラクタル図形を図 2 2 ～ 図 2 6 に示す。また、 $z$  軸方向分布の標準偏差  $s$  を図 2 7 に示す。図 2 7 において、横軸は  $m=1=x$  の値である。これらの図より、三次元格子上的において、異方性を入れた方向の分布を制御することが可能であることがわかる。すなわち、 $m=1=x$  の値を小さくすることにより、 $z$  軸方向への成長を抑制することができ、逆に  $m=1=x$  の値を大きくすることにより、 $z$  軸方向への成長を促進することができる。

ここで、異なるフラクタル図形間の隣接している点の数が概ね制御できることを見る。図 2 2 ～ 図 2 6 と同じ状況、すなわち、 $m = 1 = 0.02$ 、 $m = 1 = 0.1$ 、 $m = 1 = 1.0$ 、 $m = 1 = 2.0$ 、 $m = 1 = 10.0$  に対して成長ステップを横軸として、隣接点の数  $N$  をプロットしたのが図 2 8 である。この図より、パラメータ  $m$ 、 $l$  の減少に伴い、つまり、成長点が起点を定義した  $x-y$  面内に伸びて行くに従って、結合の数が増加していくことがわかる。

## 【 0 0 4 5 】

なお、上述の神経回路網形成のシミュレーションプログラムは、コンピュータ読み取り可能な記録媒体として提供することもできる。

## 【 0 0 4 6 】

以上、この発明の実施形態につき具体的に説明したが、この発明は、上述の実施形態に限定されるものではなく、この発明の技術的思想に基づく各種の変形が可能である。

## 【 0 0 4 7 】

## 【発明の効果】

以上説明したように、この発明によれば、複数の起点からフラクタル構造をそれぞれ成長させ、それぞれの起点から成長するフラクタル構造を相互作用させながら成長させて互いに連結したフラクタル構造を形成するようにしていることにより、神経回路網などの複雑なネットワークを制御性良くしかも容易に構成することができる。特に、フラクタル構造を成長させる空間が異方性を有する場合には、異なるフラクタル構造間の結合状態を制御することができ、より多彩な構造の神経回路網などの複雑なネットワークを制御性良くしかも容易に構成することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図 1】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

## 【図 2】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図であ



る。

【図 3】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 4】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 5】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 6】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 7】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 8】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 9】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 1 0】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 1 1】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 1 2】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 1 3】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 1 4】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 1 5】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 1 6】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 1 7】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 1 8】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 1 9】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 2 0】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 2 1】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 2 2】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 2 3】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 2 4】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 2 5】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 2 6】

この発明による神経回路網の形成のシミュレーションの結果を示す略線図である。

【図 2 7】

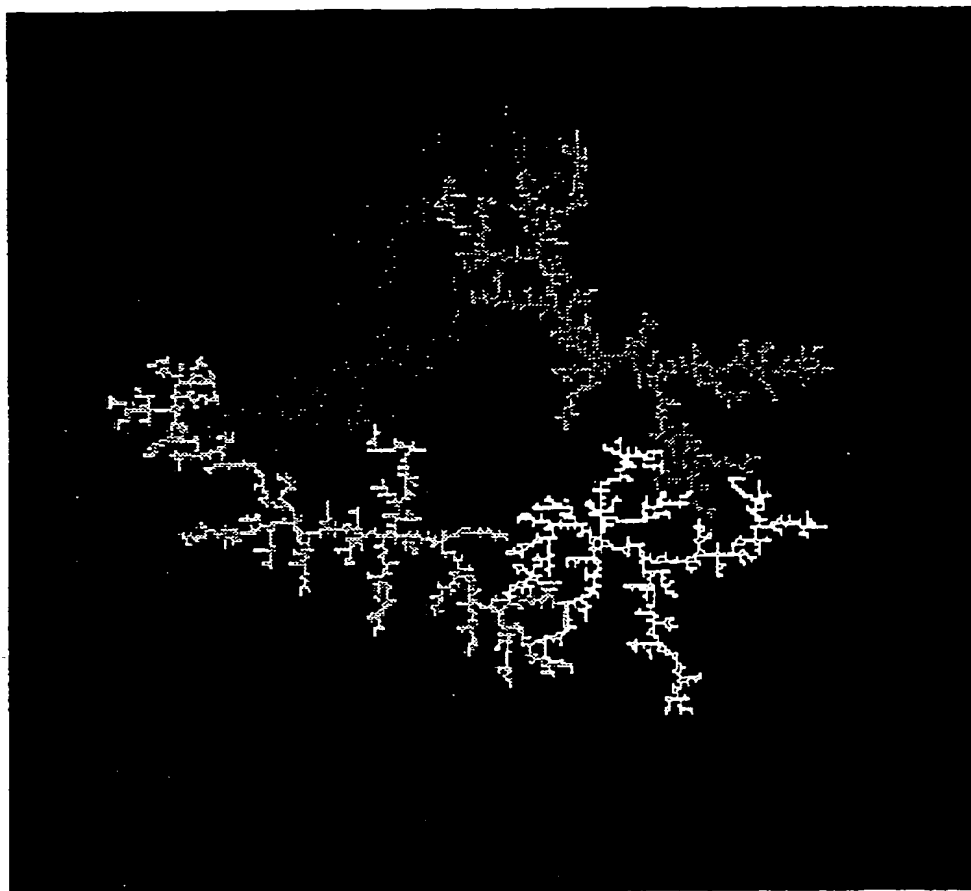
この発明において三次元格子上で異方性を  $z$  軸方向のみに導入したときの神経回路網の形成における  $z$  軸方向分布の標準偏差の異方性パラメータに対する変化を示す略線図である。

【図 2 8】

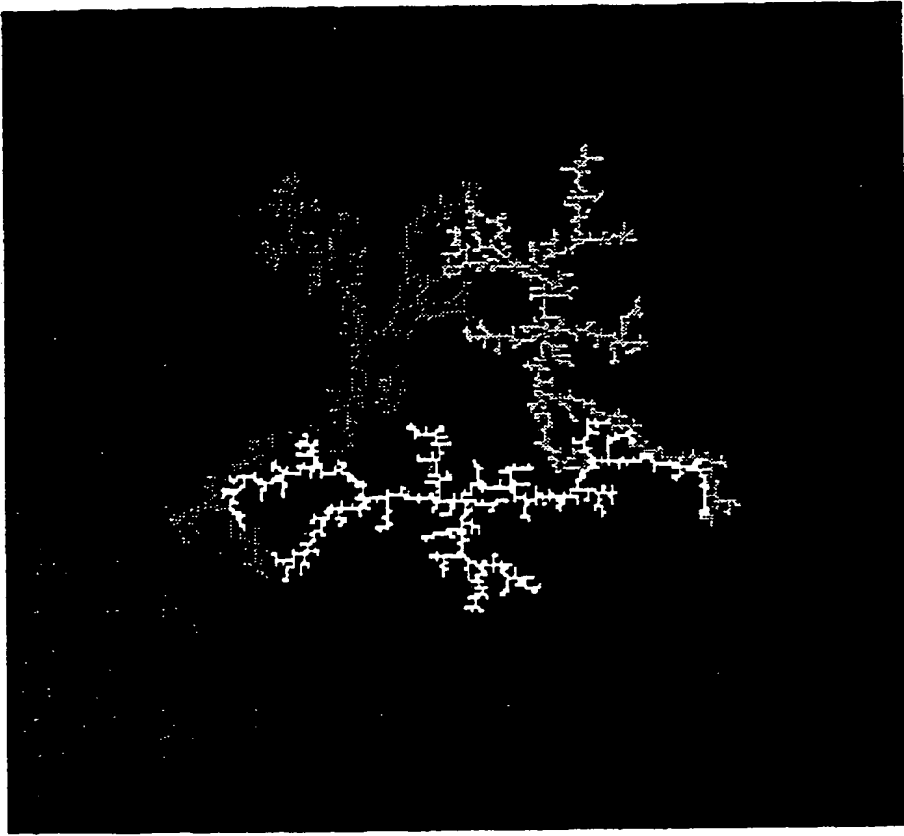
この発明において三次元格子上で異方性を  $z$  軸方向のみに導入したときの神経回路網の形成における成長ステップに対するフラクタル図形間の隣接点の数の変化を示す略線図である。

【書類名】 図面

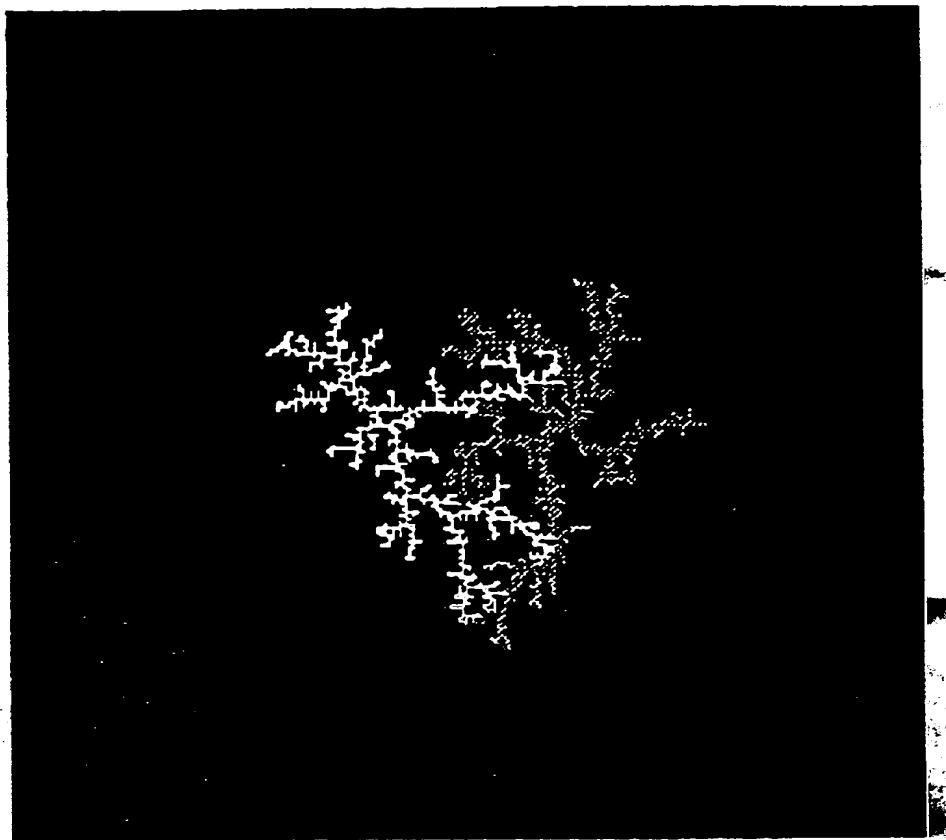
【図 1】



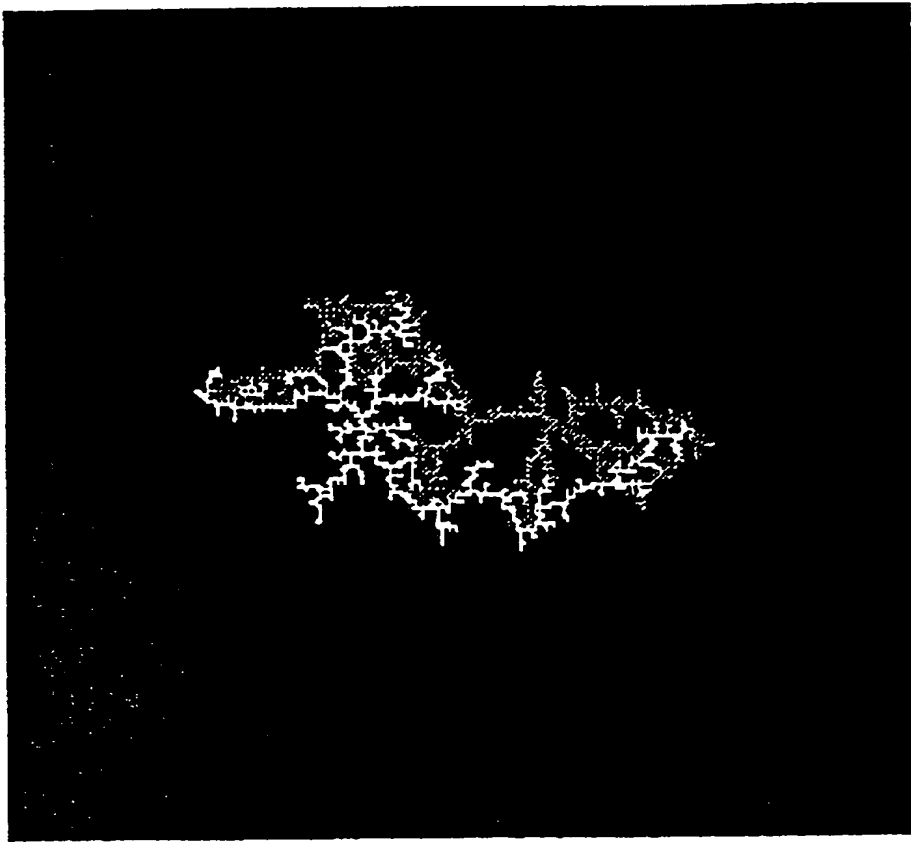
【図 2】



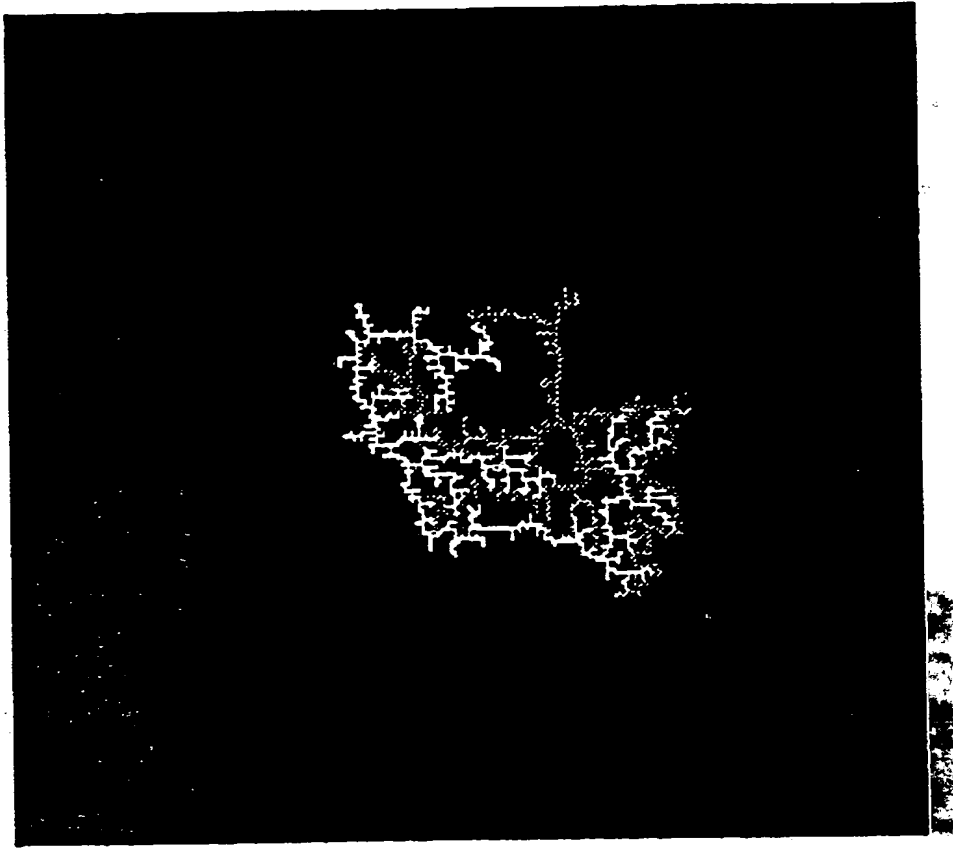
【図 3】



【図 4】

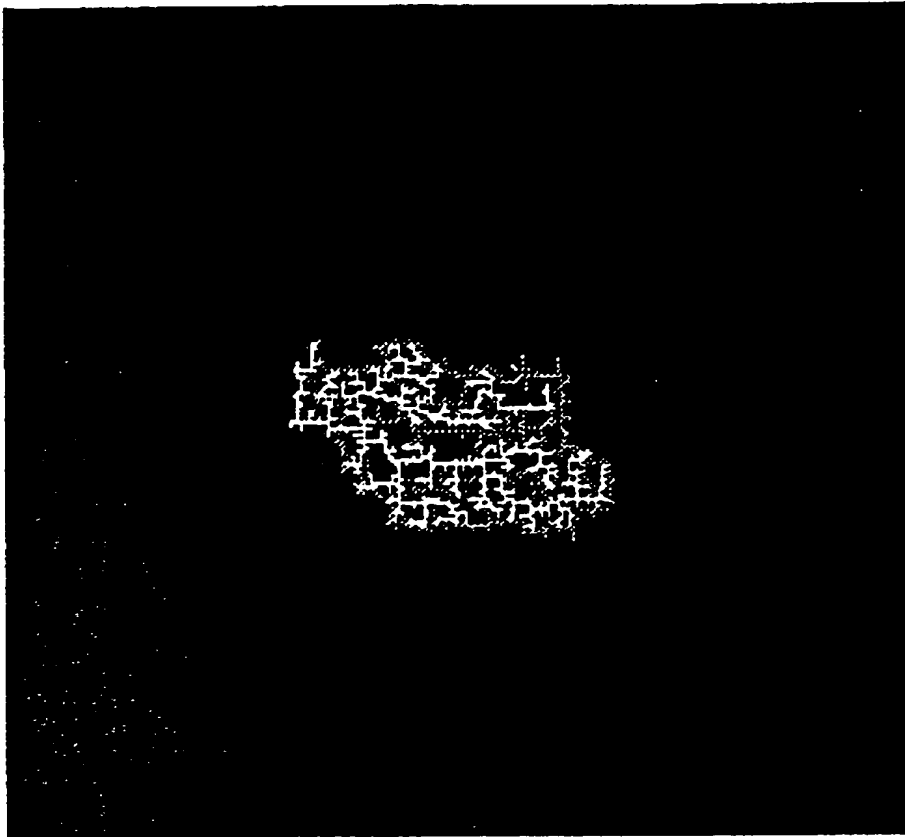


【図 5】





【図 6】

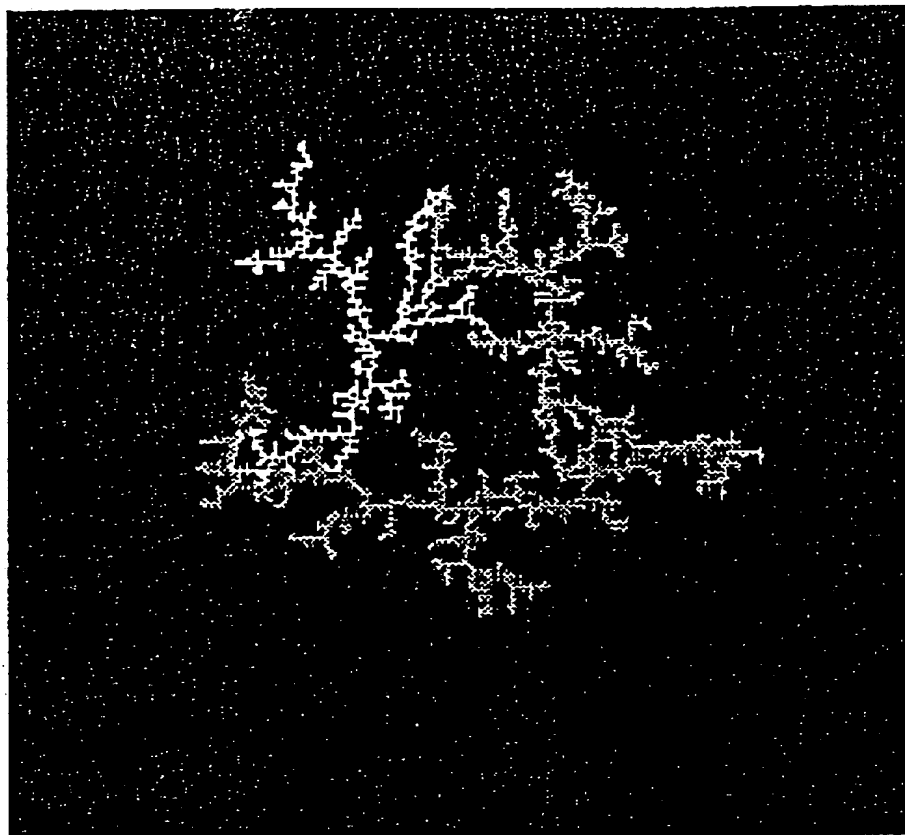


【図7】



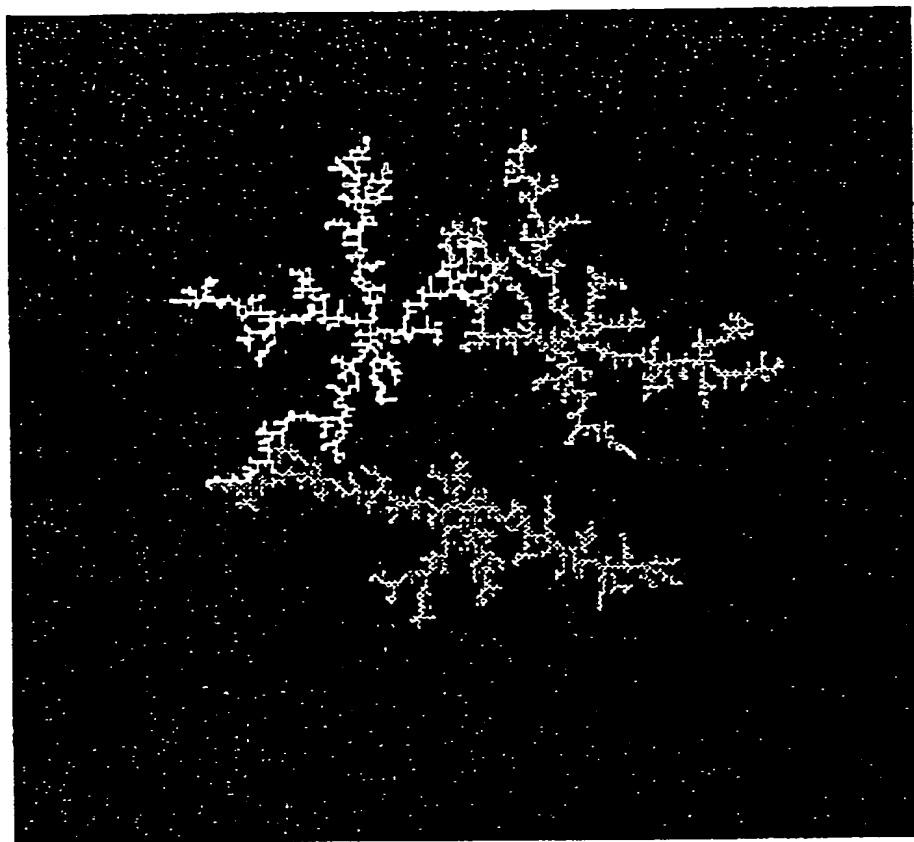
【図 8】

$$\psi_{\infty} = 0$$



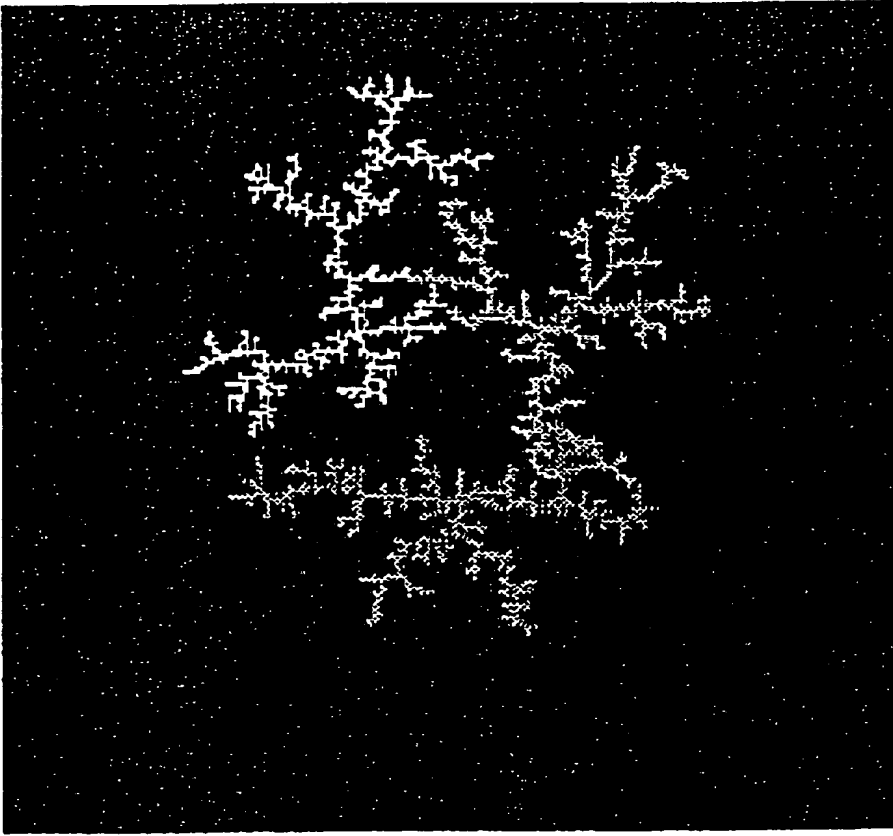
【図9】

$$\psi_{\infty} = -1$$



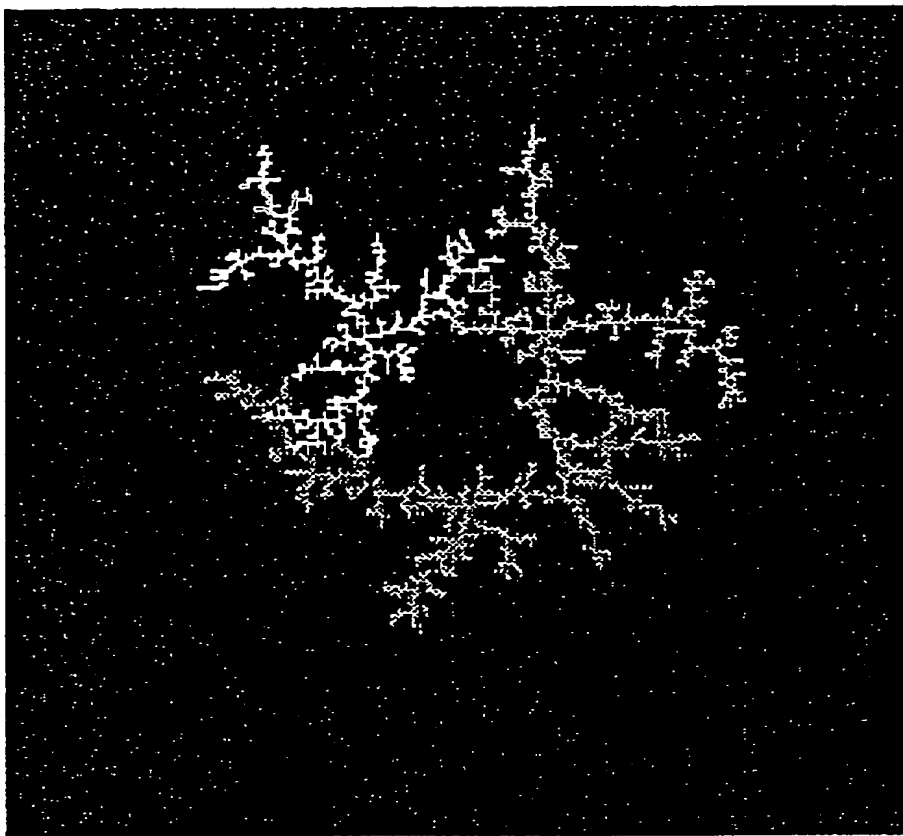
【図 1 0】

$$\psi_{\infty} = -0.6$$



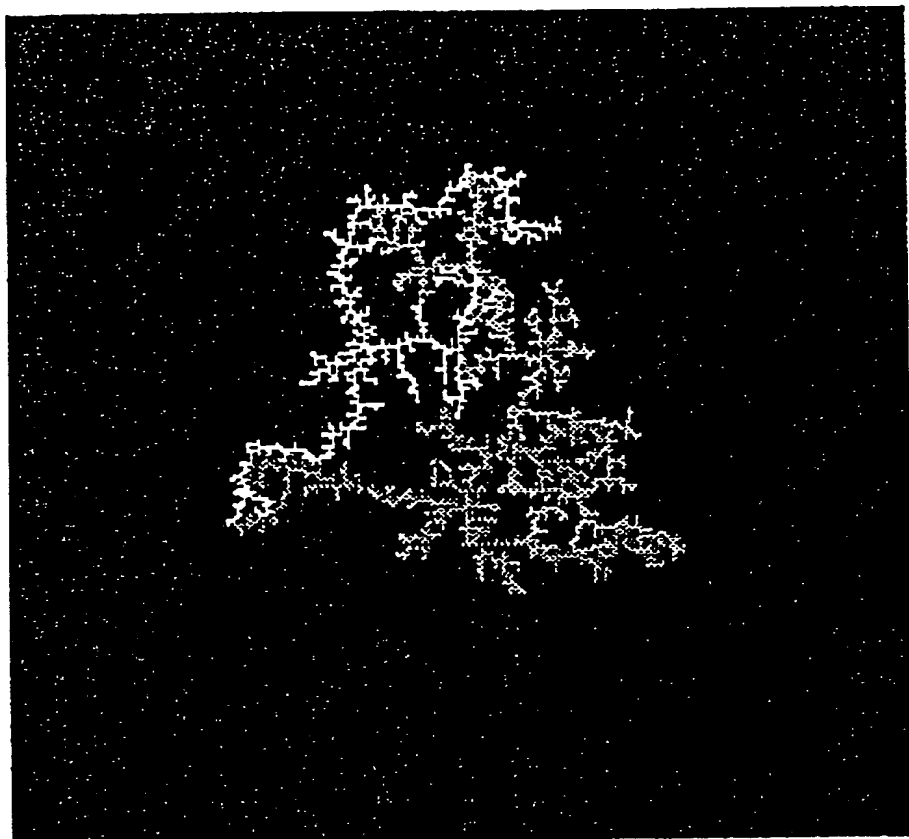
【図11】

$$\psi_{\infty} = -0.2$$



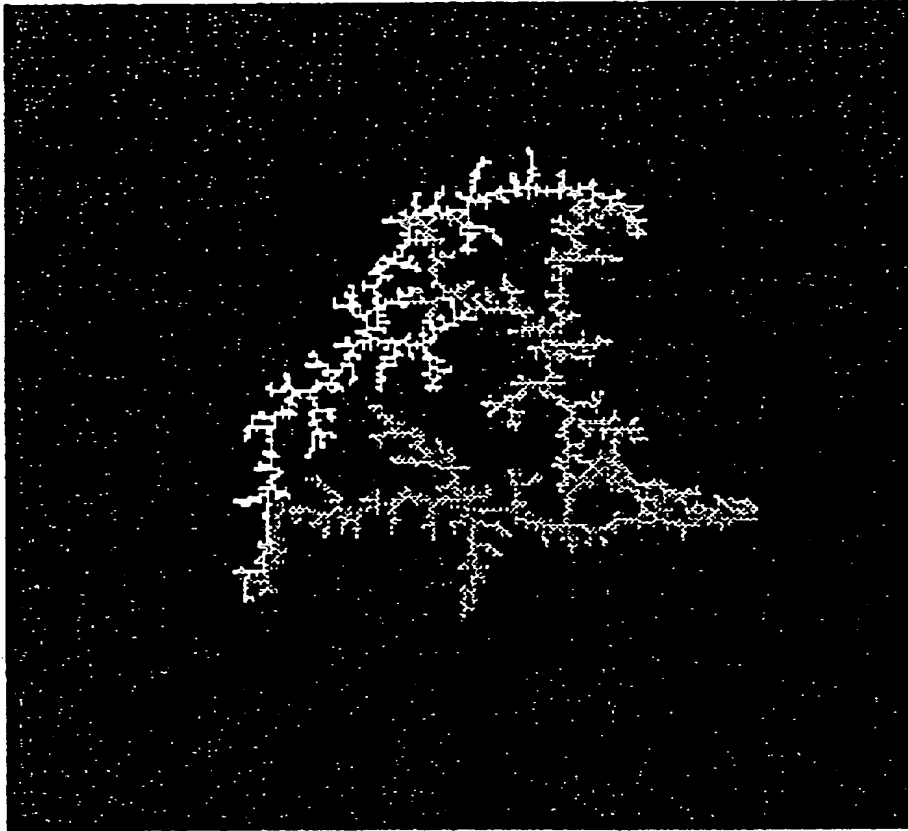
【図 12】

$$\psi_{\infty} = 1$$



【図13】

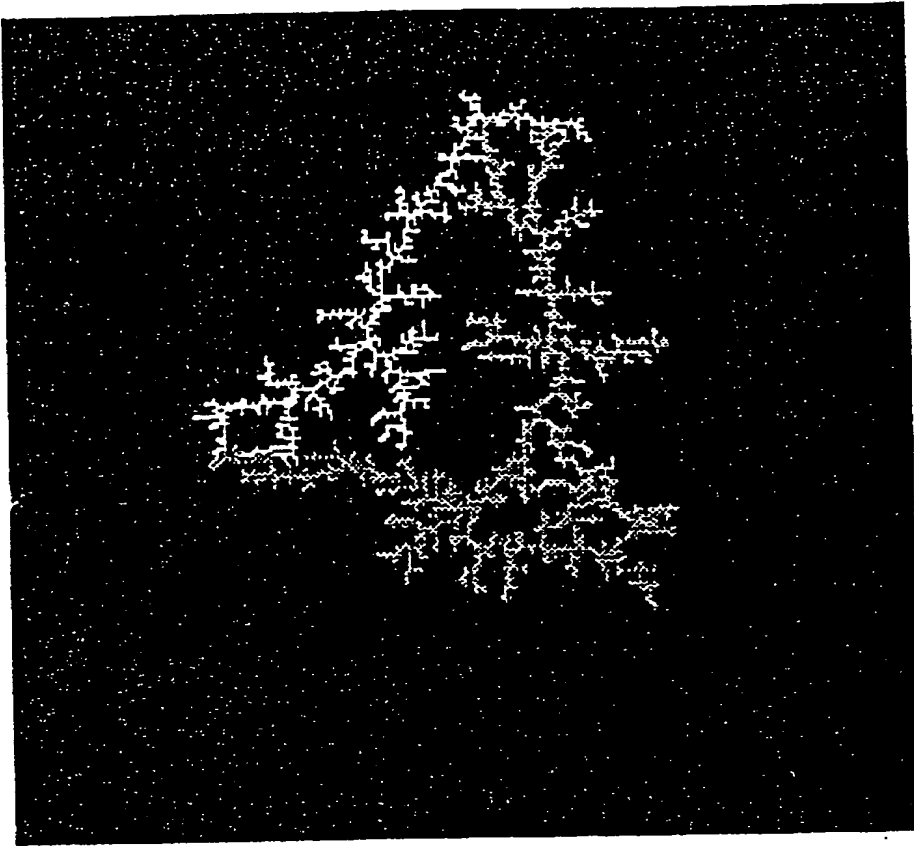
$$\psi_{\infty} = 0.6$$





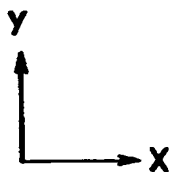
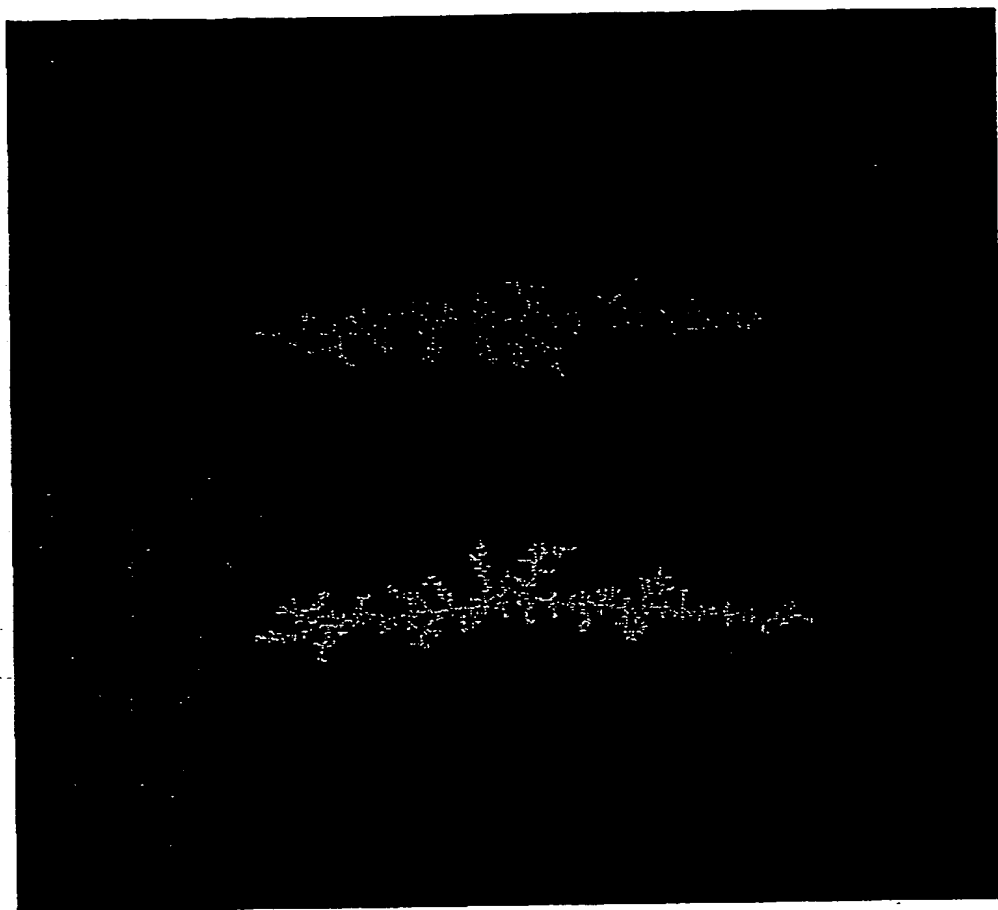
【図 1 4】

$$\psi_{\infty} = 0.2$$



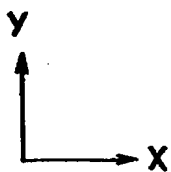
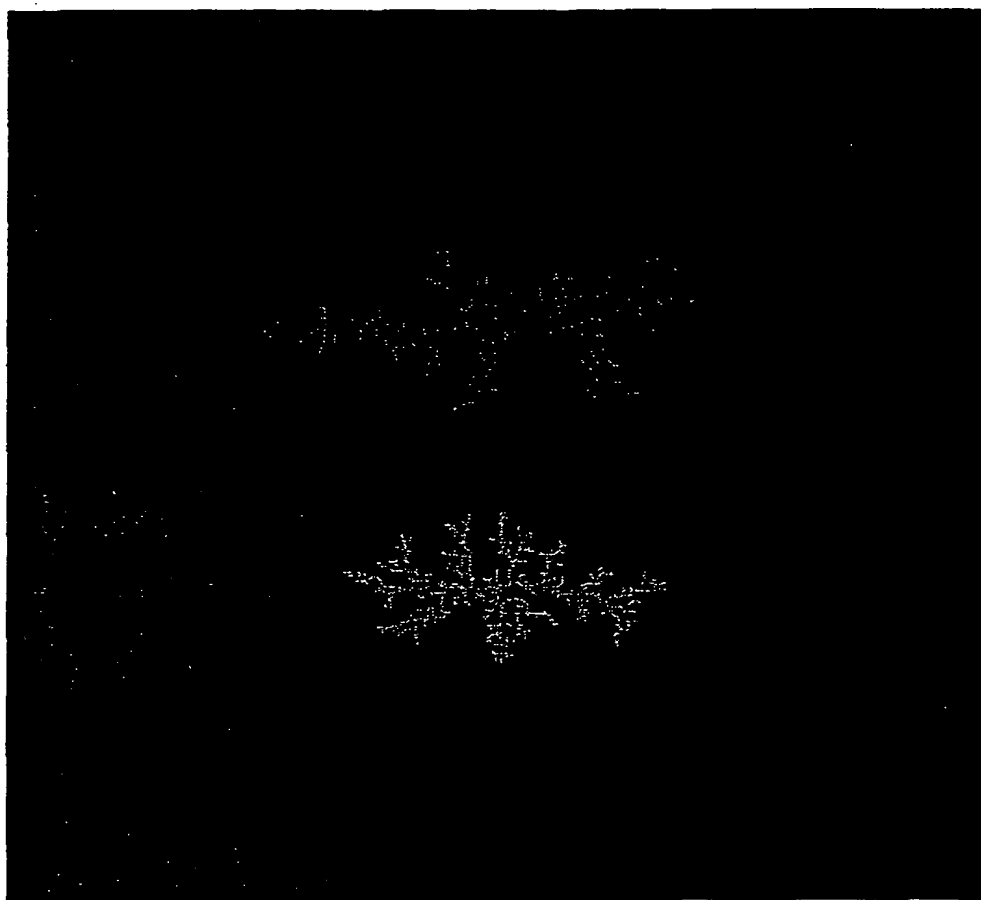
【図15】

$$m = 1 = 0.5$$



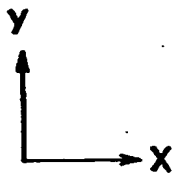
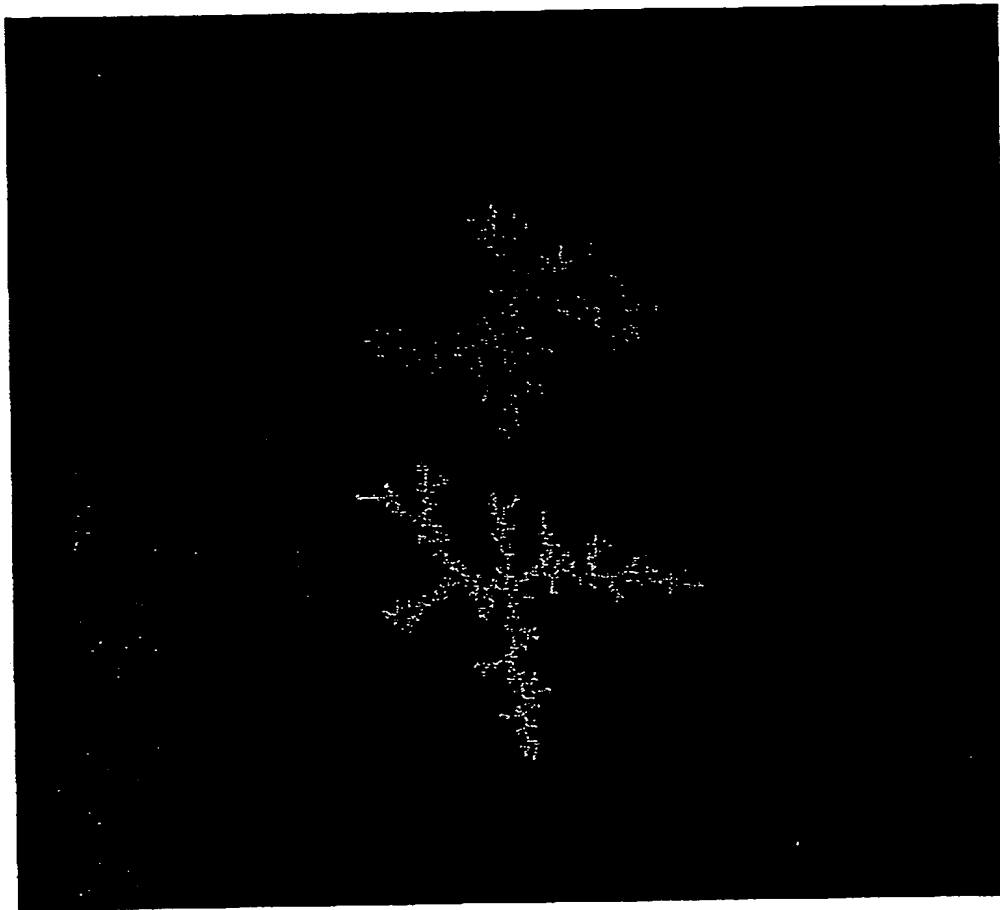
【図16】

$$m = 1 = 0.75$$



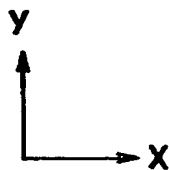
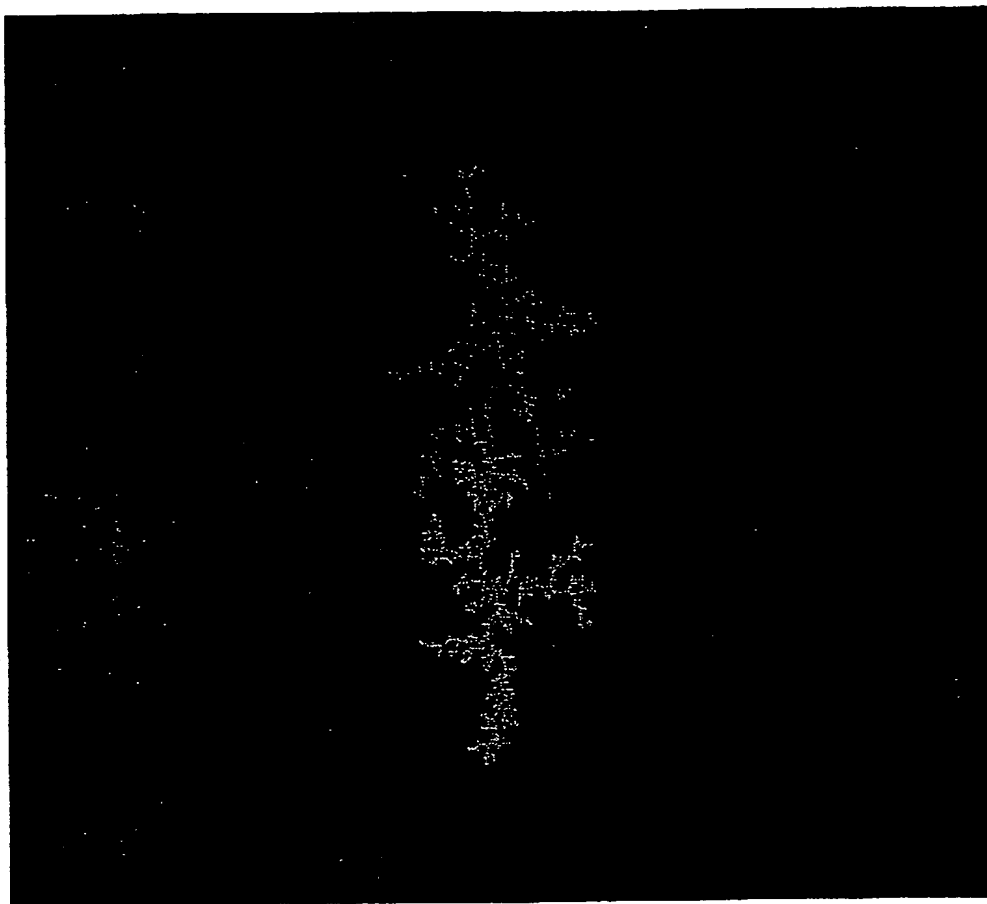
【図17】

$$m = l = 1.0$$



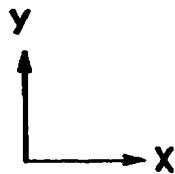
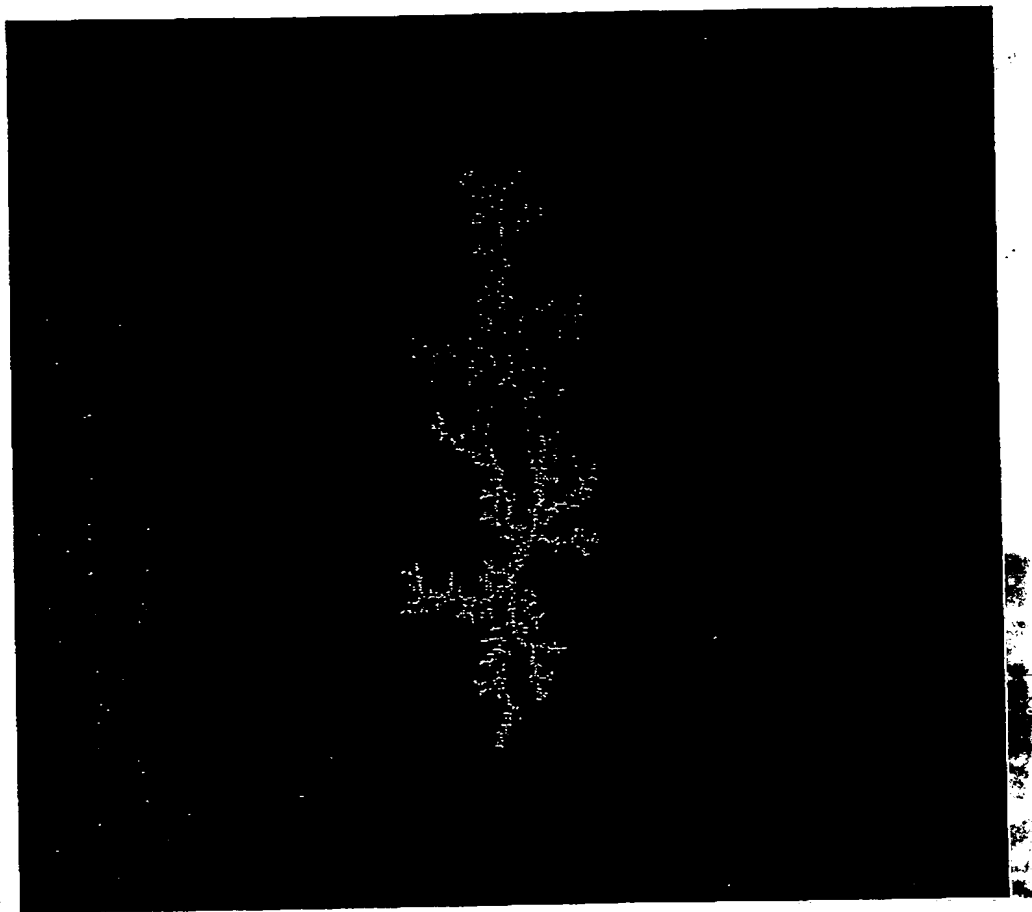
【図18】

$$m=1=1.25$$



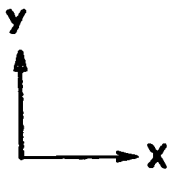
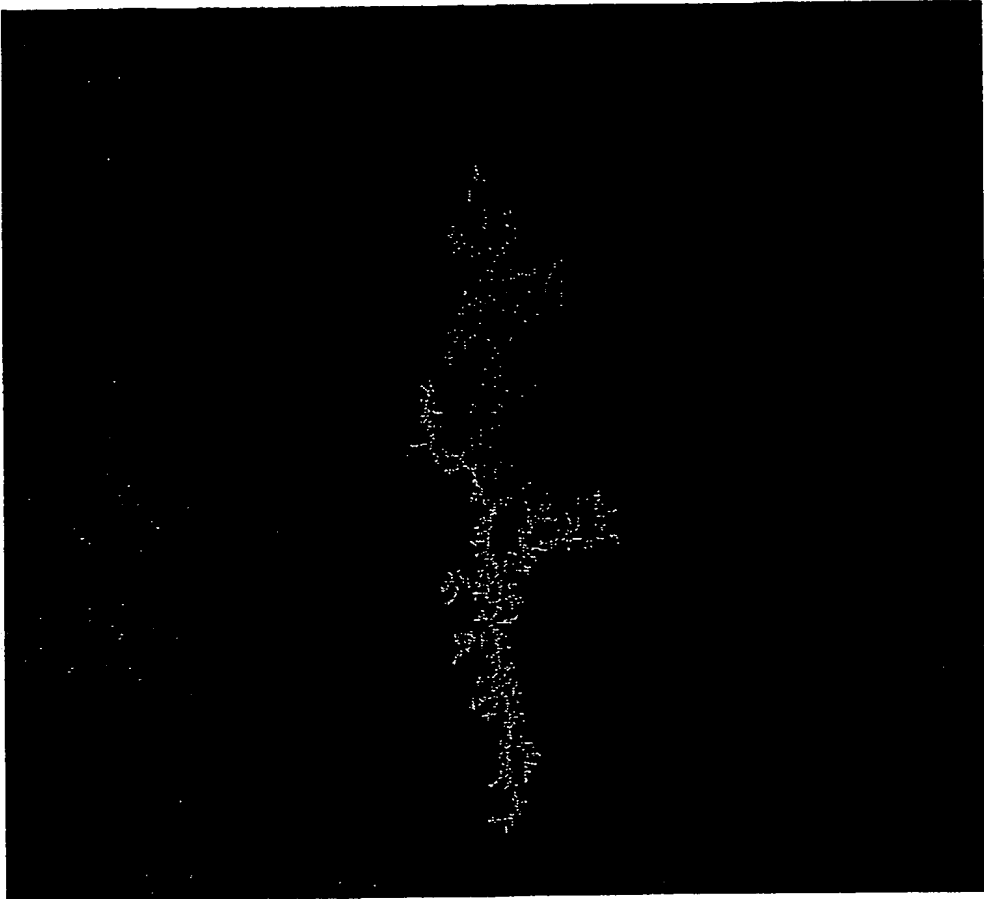
【図19】

$$m=1=1.5$$

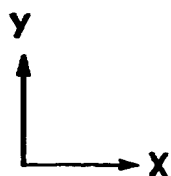
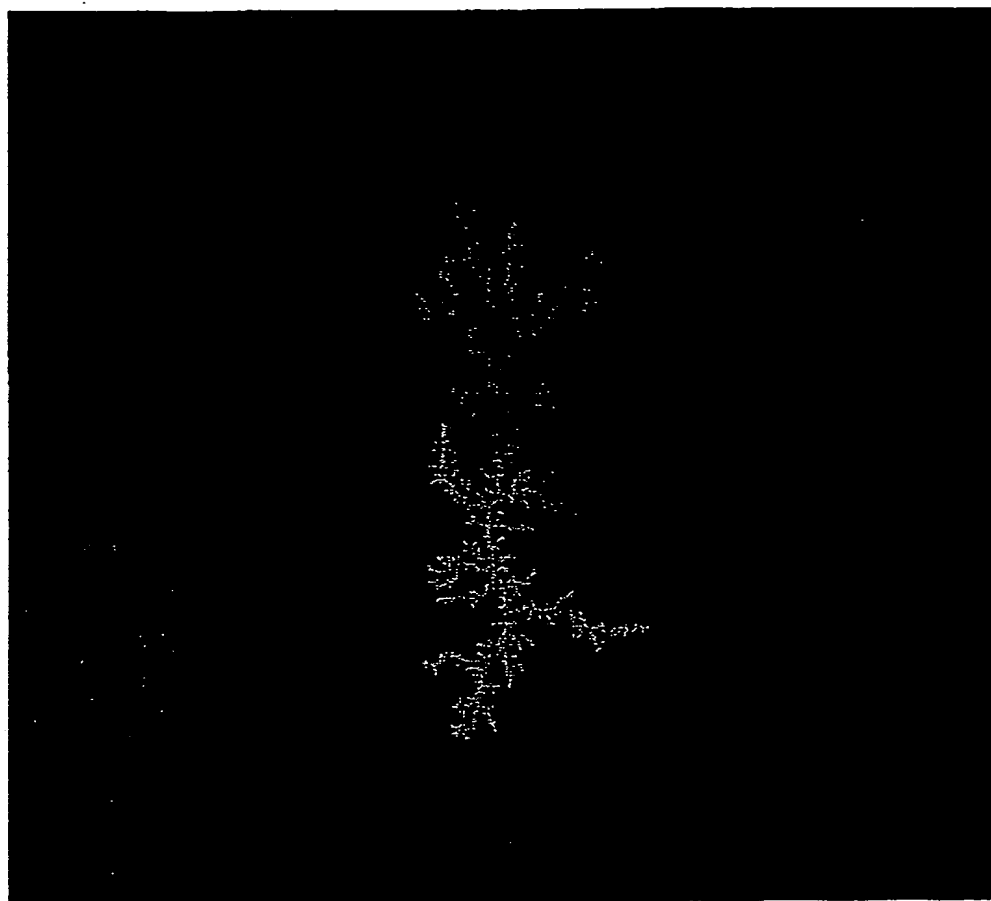


【図 2 0】

$$m = 1 = 2.0$$

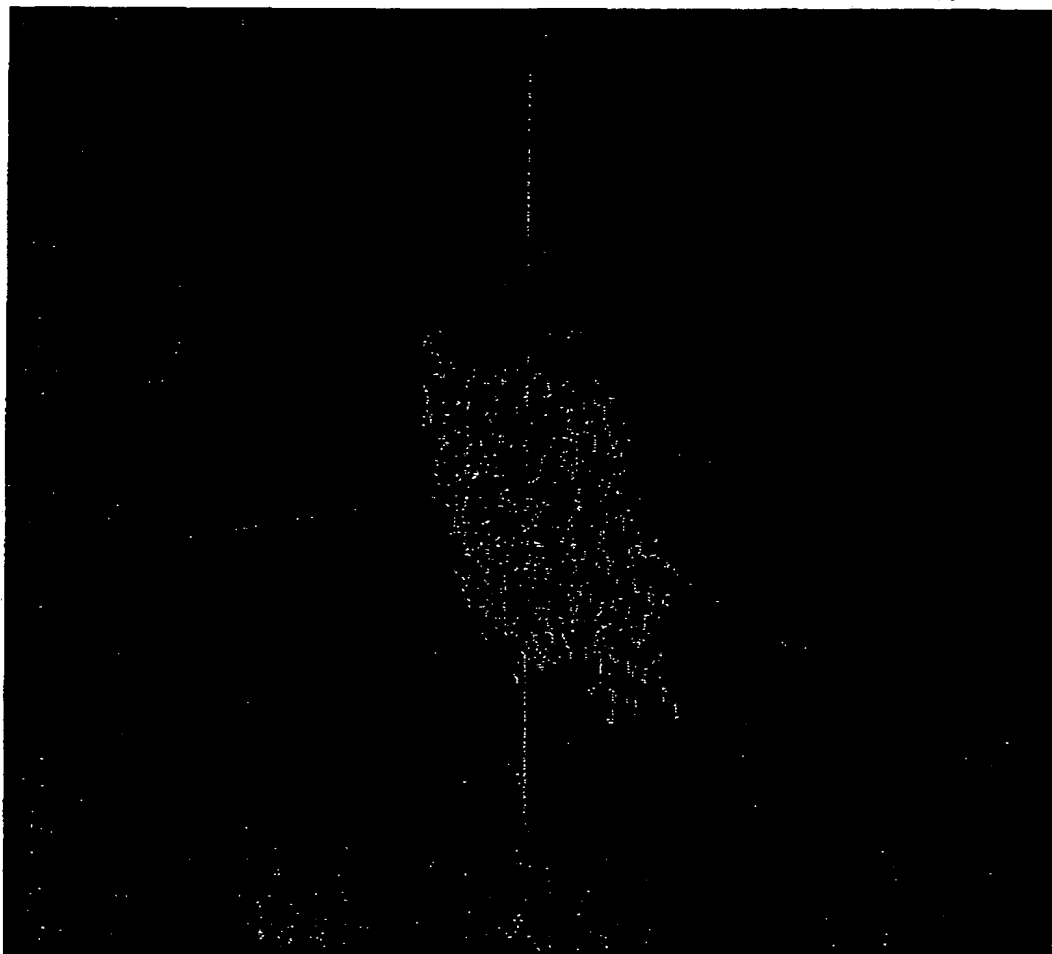
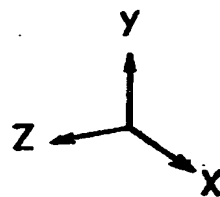


【図 2 1】

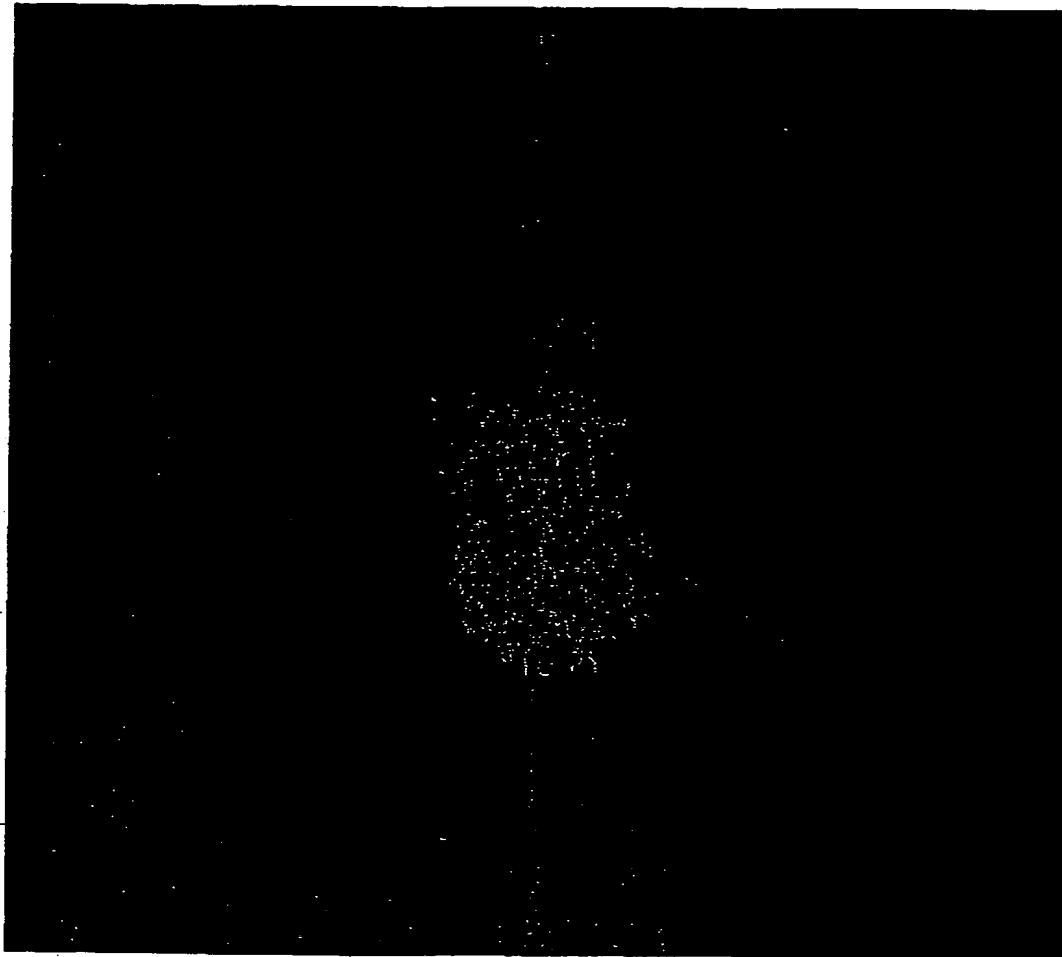
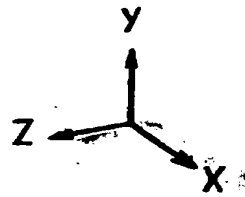




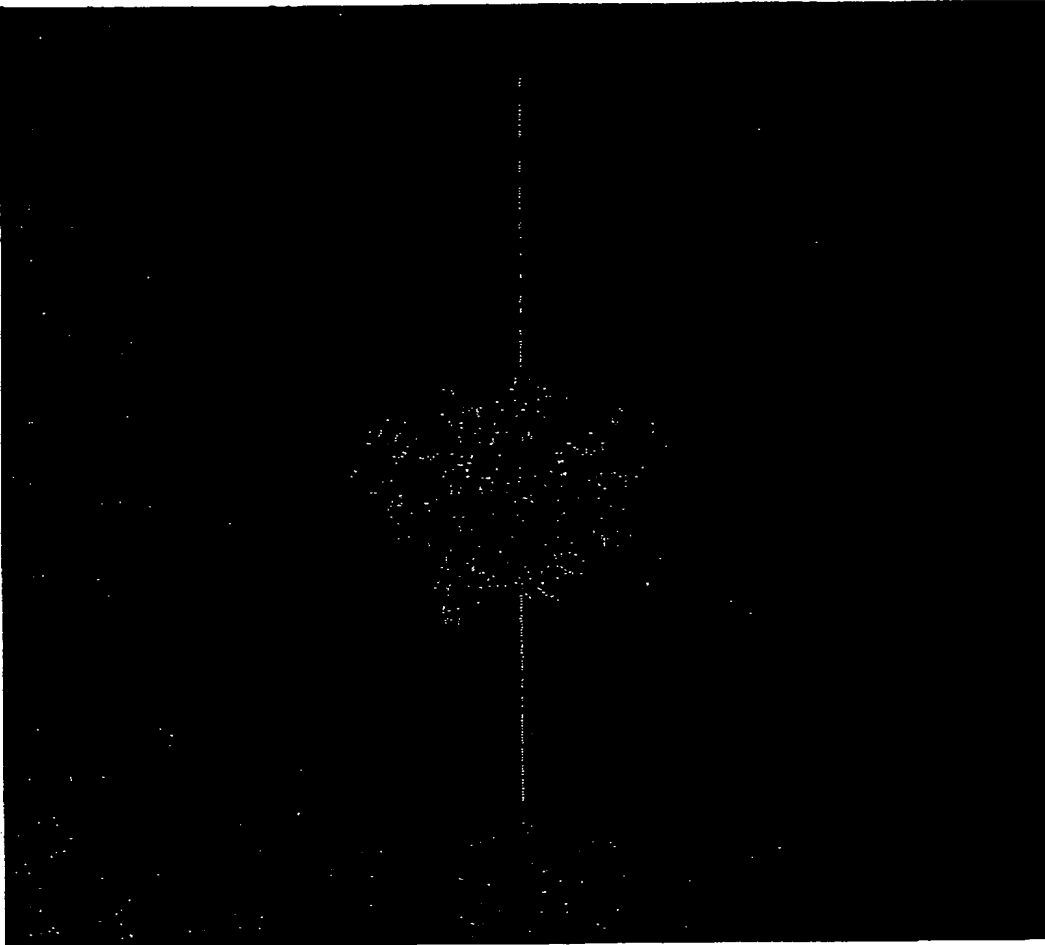
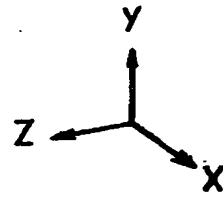
【図 2 2】



【図 23】

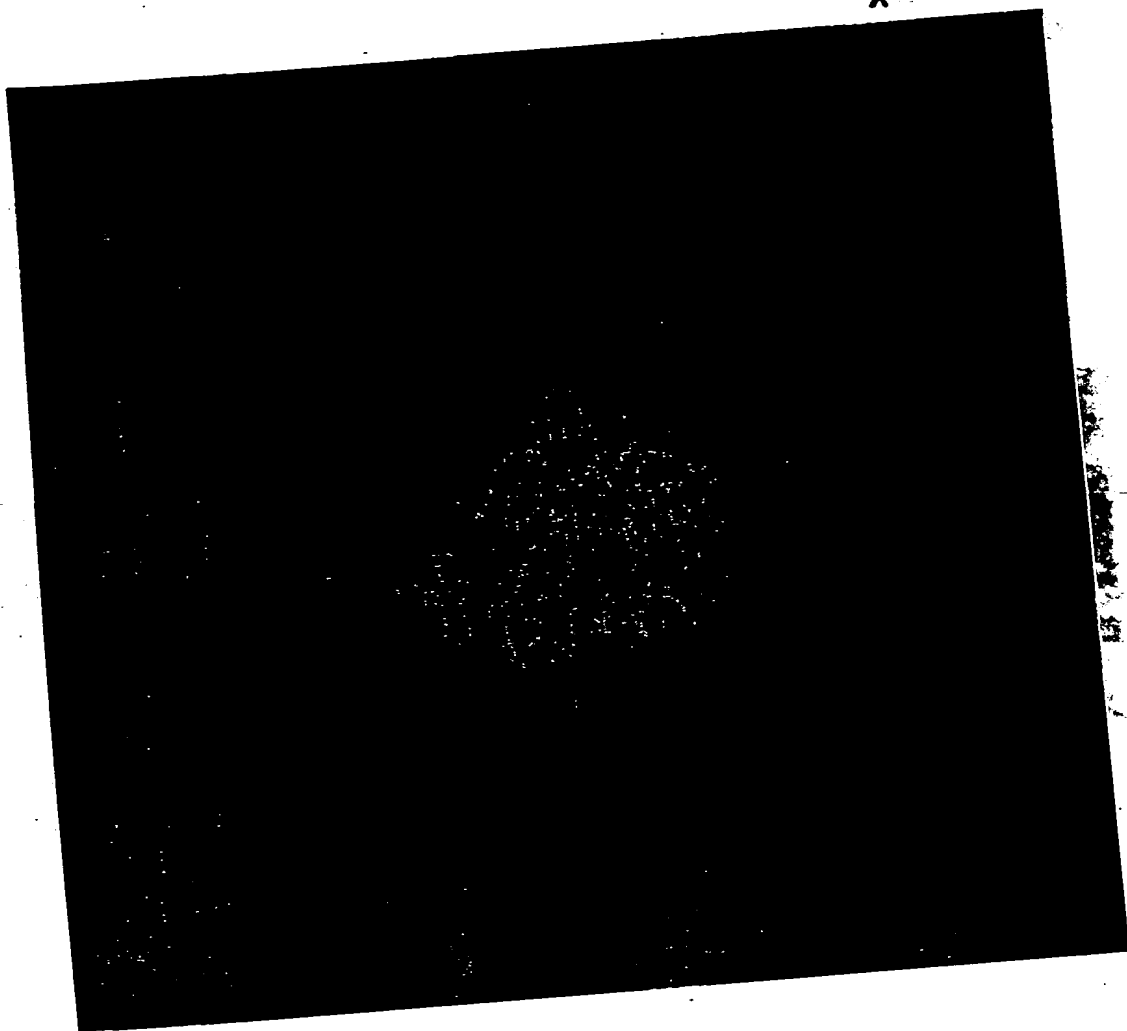
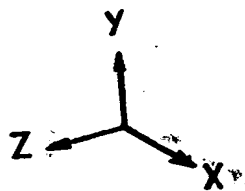


【図24】



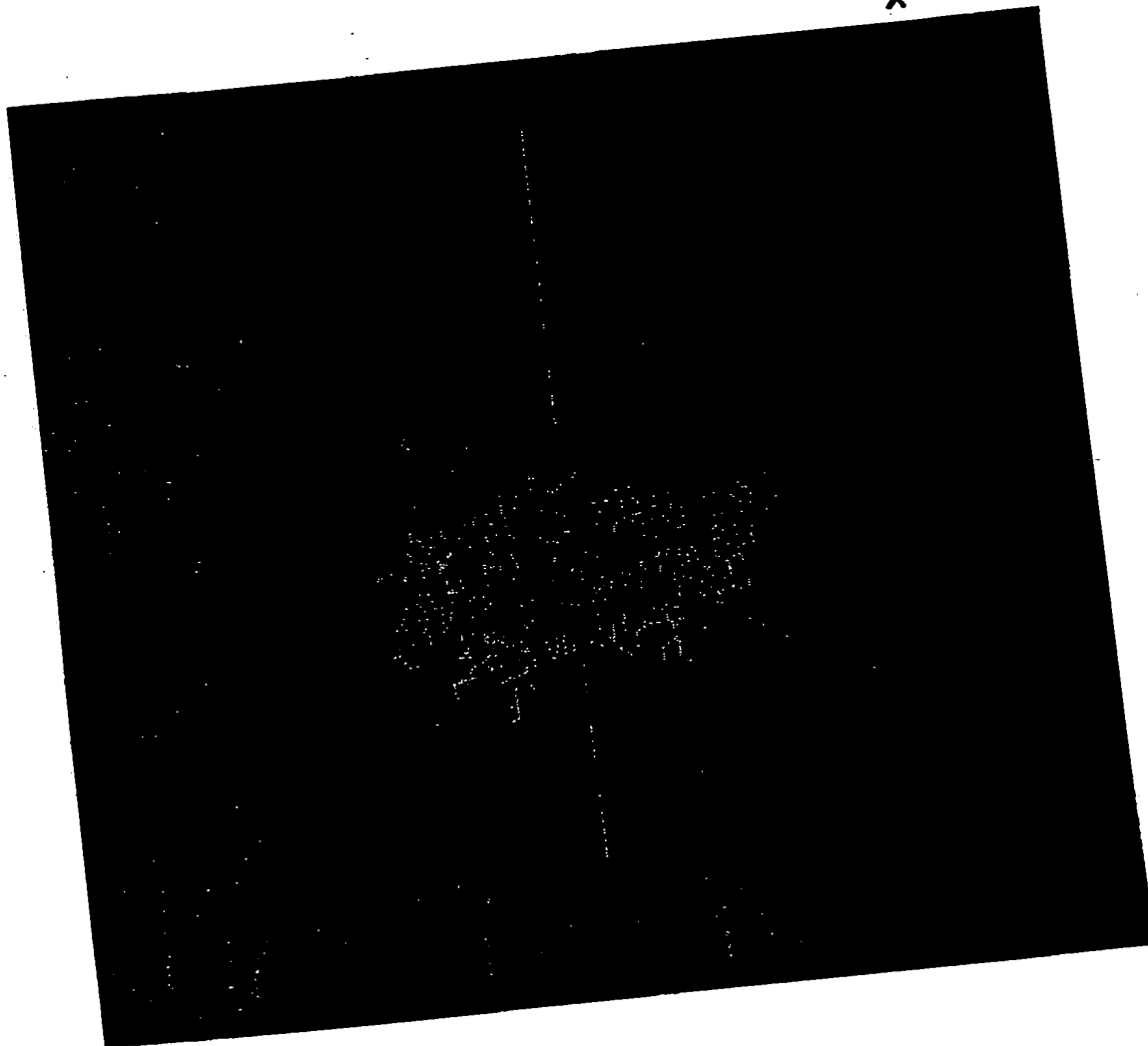
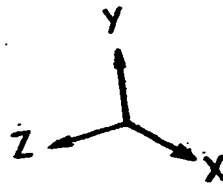
特 2000-054246

【図25】

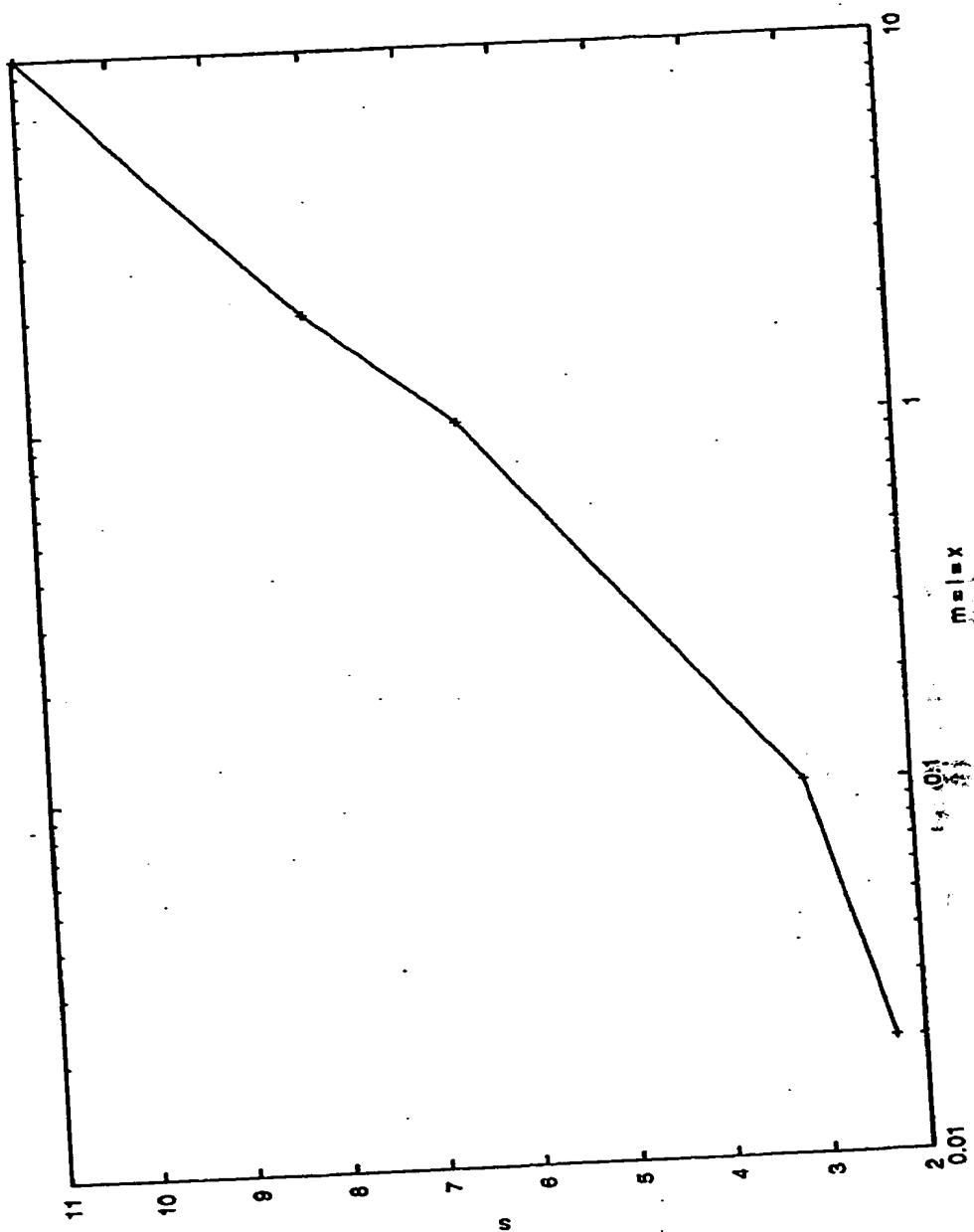


特2000-054246

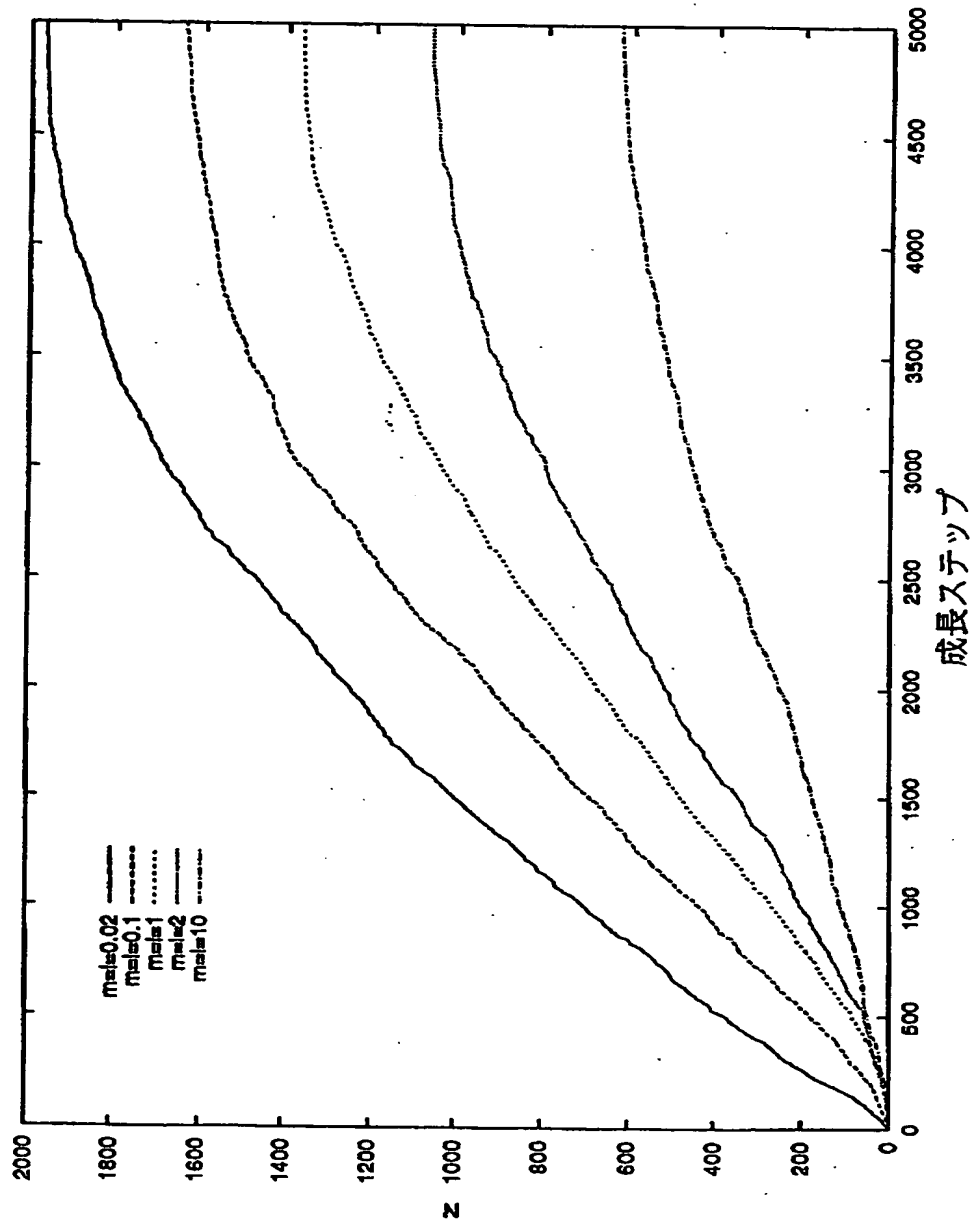
【図26】



【図 27】



【図28】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 神経回路網などの複雑なネットワークを制御性良くしかも容易に構成することができるフラクタル構造の形成方法を提供する。

【解決手段】 複数の起点からフラクタル構造を成長させる。それぞれの起点から成長するフラクタル構造は相互作用しながら成長して互いに連結したフラクタル構造を形成し、神経回路網を構成する。ある特定の起点からの成長速度は、例えば、遠方から拡散過程によって材料が既成長部分に到達する確率と、それ以外の起点から成長した部分からの拡散過程によって成長促進因子が既成長部分に到達する確率とにより決定される。必要に応じて、フラクタル構造を成長させる空間に異方性を導入する。

【選択図】 図 1



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002185]

1. 変更年月日 1990年 8月30日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都品川区北品川6丁目7番35号  
氏 名 ソニー株式会社

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**